

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA  
INDUSTRIAL DE ZARAGOZA



*PROYECTO FINAL DE CARRERA*  
SENSORIZACIÓN DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN

AUTOR: Alejandro Costa Perna

DIRECTOR: Vicente Alcalá Heredia

ESPECIALIDAD: Electricidad

CONVOCATORIA: Septiembre 2010



<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETO DEL PROYECTO.....</b>	<b>11</b>
<b>3. SENSORES: CLASIFICACION Y PARTICULARIDADES .....</b>	<b>12</b>
3.1. Definición de sensor .....	12
3.2. Sensor, transductor y captador .....	13
3.3. Clasificación de los sensores .....	14
3.4. Particularidades de los sensores del automóvil.....	17
<b>4. SENSORES DE POSICIÓN (RECORRIDO/POSICIÓN ANGULAR).....</b>	<b>23</b>
4.1. Descripción general .....	23
4.2. Principios de medición.....	24
4.2.1. Sensores de potenciómetro .....	24
4.2.2. Sensores inductivos .....	25
4.2.3. Sensores magneto estáticos .....	26
4.3. Tipos de sensores de posición .....	28
4.3.1. Potenciómetro de plato sonda.....	28
4.3.2. Sensor de mariposa .....	30
4.3.3. Sensores de anillos de cortocircuito semidiferencial .....	34
4.3.4. Sensor de nivel de combustible .....	37
4.3.5. Sensores de pedal acelerador .....	39
4.3.6. Sensores de ángulo del volante de dirección .....	42
4.3.7. Sensores de eje .....	45
4.3.8. Sensores ultrasónicos .....	47
4.3.9. Sensores electromagnéticos (radar) .....	50
4.3.10. Regulador inteligente de velocidad de marcha ACC .....	52
<b>5. SENSORES DE VELOCIDAD DE (ROTACIÓN/VELOCIDAD LINEAL) .....</b>	<b>55</b>
5.1. Descripción general .....	55
5.2. Principios de medición.....	56
5.2.1. Sensores inductivos .....	56
5.2.2. Sensores magneto estáticos .....	57
5.2.3. Sensores de convolución .....	59
5.3. Tipos de sensores de velocidad .....	60
5.3.1. Sensores de revoluciones del motor (inductivos) .....	60
5.3.2. Sensor de movimiento de aguja en porta inyector (inductivo) .....	62
5.3.3. Sensor para encendido transistorizado (inductivo).....	64
5.3.4. Sensores de velocidad de giro de las ruedas (inductivo) .....	66
5.3.5. Sensores de ángulo de giro (efecto Hall) .....	68

5.3.6.	Sensores tacometritos de cajas de cambios (efecto Hall) .....	74
5.3.7.	Sensor Hall para encendido transitorizado (efecto Hall) .....	76
5.3.8.	Sensores de convolución .....	78
6.	SENSORES DE ACELERACIÓN Y DE VIBRACIONES .....	83
6.1.	Descripción general .....	83
6.2.	Principios de medición.....	83
6.3.	Tipos de sensores de aceleración .....	84
6.3.1.	Sensores de aceleración de efecto Hall.....	84
6.3.2.	Sensores de aceleración realizados por micromecánica .....	86
6.3.3.	Sensores de aceleración piezoeléctricos.....	89
6.3.4.	Sensor de pistoneo .....	91
7.	SENSORES DE CAUDAL.....	93
7.1.	Descripción general .....	93
7.2.	Principios de medición.....	93
7.3.	Tipos de sensores .....	95
7.3.1.	Sonda volumétrica de aire por plato sonda LMM .....	95
7.3.2.	Medidor de masa de aire por hilo caliente HLM .....	99
7.3.3.	Medidor de masa de aire de película caliente HFM5 .....	102
8.	SENSORES DE TEMPERATURA .....	108
8.1.	Descripción general .....	108
8.2.	Principios de medición.....	108
8.3.	Tipos de sensores .....	110
8.3.1.	Sensor de temperatura del moto .....	110
8.3.2.	Sensor de temperatura del aceite de motor.....	110
8.3.3.	Sensor de temperatura de los gases de escape .....	110
8.3.4.	Sensor de temperatura del refrigerante .....	111
8.3.5.	Sensor de temperatura del aire aspirado .....	114
8.3.6.	Sensor de temperatura del combustible .....	115
9.	SENSORES DE GAS, SONDAS DE CONCENTRACIÓN .....	116
9.1.	Descripción general .....	116
9.2.	Principios de medición.....	117
9.3.	Tipos de sensores .....	118
9.3.1.	Sensores de calidad del aire .....	118
9.3.2.	Sondas lambda .....	120
10.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SENSORES .....	132
10.1	Introducción .....	132
10.2	Algunas características que definen un captador de señal .....	133
10.2.1	Naturaleza de las magnitudes físicas a medir .....	134

10.2.2	<b>Tipo de fenómeno físico: estático o dinámico</b> .....	134
10.2.3	<b>Rango de la medida: sensibilidad y resolución</b> .....	135
10.2.4	<b>Precisión requerida: error y linealidad</b> .....	136
11.	<b>SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b> .....	139
11.1.	<b>Introducción</b> .....	139
11.2.	<b>¿Qué es un Sistema de Adquisición de Datos? (SAD)</b> .....	139
11.2.1.	<b>Sensores o Transductores</b> .....	140
11.2.2.	<b>Amplificadores operacionales</b> .....	141
11.2.3.	<b>Amplificador de instrumentación</b> .....	141
11.2.4.	<b>Aisladores</b> .....	141
11.2.5.	<b>Multiplexores</b> .....	141
11.2.6.	<b>Circuitos de muestreo y retención (Sample and Hold)</b> .....	142
11.2.7.	<b>Conversor Analógico Digital A/D</b> .....	143
11.2.8.	<b>Conversor Digital Analógico D/A</b> .....	144
11.2.9.	<b>Microprocesadores</b> .....	145
11.3.	<b>Preparación de la señal</b> .....	145
11.4.	<b>Proceso de cuantificación y codificación</b> .....	146
11.5.	<b>Teoría de muestreo</b> .....	148
11.6.	<b>Tiempo de respuesta requerido</b> .....	149
11.7.	<b>Circuitos ASIC</b> .....	150
11.8.	<b>Ejemplos de aplicación</b> .....	151
12.	<b>CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN SAD</b> .....	156
12.1.	<b>Introducción</b> .....	156
12.2.	<b>Amplificadores</b> .....	156
12.3.	<b>Filtros</b> .....	156
12.4.	<b>Multiplexores</b> .....	157
12.5.	<b>Circuitos de muestreo y retención</b> .....	157
12.6.	<b>Conversores A/D Y D/A</b> .....	157
12.7.	<b>Conclusión</b> .....	158
13.	<b>SISTEMA DISEÑADO</b> .....	159
13.1.	<b>Introducción</b> .....	159
13.2.	<b>El tacómetro</b> .....	159
13.2.1.	<b>Contador de pulsos</b> .....	160
13.2.2.	<b>Tacómetros de arrastre por inducción</b> .....	162
13.3.	<b>Sensor inductivo de proximidad XS618B1PAL2 de Bosch</b> .....	162
13.3.1.	<b>Introducción</b> .....	162
13.3.2.	<b>Funcionamiento</b> .....	163
13.3.3.	<b>Descripción del sistema</b> .....	165



---

13.3.4.	<b>Identificación de los cables .....</b>	<b>167</b>
13.3.5.	<b>Comprobación del correcto funcionamiento .....</b>	<b>167</b>
13.4.	<b>Medición de temperaturas.....</b>	<b>168</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>		<b>169</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>170</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Diagrama de bloques de un sensor.....	12
Figura 3.2: Diferentes sensores en un vehiculo. ....	13
Figura 3.3: Conexión de una Termoresistencia en un puente de Wheastone.....	16
Figura 3.4: Puente de Wheastone con 2 y 4 termo resistencias.....	16
Figura 3.5: Factores que influyen en las exigencias de un sensor.....	17
Figura 3.6: Generaciones de los sensores del automóvil.....	19
Figura 3.7: Diagrama de bloques de un sensor de ultima generación.....	19
Figura 3.8: Comparador de dos sensores de presión de diferentes generaciones.....	20
Figura 4.1: Tabla indicativa con varios sensores de posición y su rango de medición ...	23
Figura 4.2: Sensor inductivo en anillo de cortocircuito.....	25
Figura 4.3: Funcionamiento de un sensor Hall.....	26
Figura 4.4: Esquema explicativo del sistema de inyección KE-Jetronic de gasolina. ....	29
Figura 4.5: Esquema del sensor de plato sonda.....	30
Figura 4.6: Esquema de un sensor de mariposa.....	31
Figura 4.7: Dos funciones de transferencia de un sensor de mariposa.....	32
Figura 4.8: Circuito eléctrico típico de un sensor de mariposa.....	33
Figura 4.9: Esquema de un sensor de mariposa.....	33
Figura 4.10: Esquema de sensor de anillo en cortocircuito para medir recorrido.....	34
Figura 4.11: Gráfica que muestra función de transferencia del sensor.....	35
Figura 4.12: Esquema sensor de posición del regulador de caudal de inyección.....	35
Figura 4.13: Esquema sensor anillo cortocircuito para bombas rotativas diesel.....	36
Figura 4.14: Esquema de ubicación del sensor de anillo en cortocircuito.....	36
Figura 4.15: Esquema de ubicación del sensor de nivel de combustible.....	37
Figura 4.16: Esquema de sensor de nivel de combustible.....	38
Figura 4.17: Diferentes formas de construcción del sensor de pedal de acelerador.....	39
Figura 4.18: Función de transferencia de sensor de pedal acelerador.....	40
Figura 4.19: Esquema de despiece de un sensor de ángulo Hall.....	41
Figura 4.20: Esquema de funcionamiento de un sensor de ángulo Hall.....	41
Figura 4.21: Esquema de despiece de un sensor de volante Hall.....	43
Figura 4.22: Esquema de ubicación del sensor de ángulo de volante Hall.....	44
Figura 4.23: Esquema de sensor ángulo de volante Hall.....	44
Figura 4.24: Esquema de un sensor de eje.....	46
Figura 4.25: Esquema de ubicación de un sensor de eje.....	46
Figura 4.26: Diagrama de radiación de antena de un sensor ultrasónico.....	47
Figura 4.27: Esquema de la sección de un sensor ultrasónico.....	48
Figura 4.28: Diagrama de bloques de la lógica de control de un sensor ultrasónico.....	49
Figura 4.29: Cálculo ultrasónico de distancias a un obstáculo.....	49
Figura 4.30: Esquema de ubicación de un sensor ultrasónico.....	50
Figura 4.31: Diagrama de bloques de un sensor ultrasónico.....	52
Figura 4.32: Diagrama de bloques del regulador de velocidad de marcha ACC.....	54
Figura 5.1: Esquema de sensor de gradiente para exploración en rueda dentada.....	59
Figura 5.2: Esquema de sensor de revoluciones del cigüeñal.....	61
Figura 5.3: Esquema de ubicación de sensor de revoluciones.....	62
Figura 5.4: Gráfica que muestra señal de sensor de revoluciones inductivo.....	62
Figura 5.5: Porta inyector con sensor de movimiento de aguja para motores.....	63

Figura 5.6:Respuesta en tensión de un sensor de movimiento de aguja. ....	64
Figura 5.7:Esquema sensor del tipo inductivo. ....	65
Figura 5.8:Generador de impulsos para ser detectado por sensor inductivo. ....	65
Figura 5.9:Esquema de un distribuidor con generador de impulsos inductivo. ....	66
Figura 5.10:Formas y modos de montaje para espiga polar, ....	68
Figura 5.11: Catalogo Bosch con ubicación del sensor magnético de revoluciones.....	69
Figura 5.12:Esquema de ubicación de sensor de revoluciones.....	70
Figura 5.13:Esquema de sensor doble diferencial .....	70
Figura 5.14:Fotografía de sensores de velocidad de efecto Hall. ....	71
Figura 5.15:Esquema de sensor de barra Hall.....	72
Figura 5.16:Esquema de funcionamiento de sensor de barra Hall. ....	72
Figura 5.17:Diferentes tipos de sensores de barra Hall según la detección. ....	73
Figura 5.18:Esquema de ubicación y montaje del árbol de levas. ....	74
Figura 5.19:Esquema eléctrico de sensor Hall con interfase de corriente bifilar. ....	75
Figura 5.20:Diferentes señales de salida atendiendo al tipo de sensor.....	76
Figura 5.21: Esquema de sensor Hall para encendido transistorizado.....	77
Figura 5.22:Distribuidos con generador de impulsos .(Igual que Figura 5.9) .....	78
Figura 5.23:Esquema de sensor de convolución con diapasón.....	79
Figura 5.24:Esquema funcionamiento de sensor de convolución con diapasón.....	80
Figura 5.25:Sensor piezoeléctrico de viraje.....	81
Figura 5.26:Esquema de funcionamiento de sensor de convolución piezoeléctrico....	82
Figura 6.1:Medidas de aceleración y rango de medida. ....	83
Figura 6.2:Esquema de un sensor de aceleración. ....	85
Figura 6.3:Función de transferencia de un sensor de aceleración. ....	85
Figura 6.4:Esquema de funcionamiento de un sensor de aceleración de efecto Hall...	86
Figura 6.5: Ubicación de sensor realizado por micromecánica en un automóvil. ....	86
Figura 6.6:Sensores realizados por micromecánica para el disparo del airbag. ....	87
Figura 6.7:Sensor realizado por micromecánica y de detención capacitiva. ....	88
Figura 6.8:Diagrama de bloques de sensor de aceleración.....	89
Figura 6.9:Fotografía sensor aceleración transversal combinado con sensor de viraje.	89
Figura 6.10:Sensor de aceleración piezoeléctrico para detección de picado. ....	90
Figura 6.11:Graficas que determinan la forma de la señal de picado. ....	90
Figura 6.12:Esquema de funcionamiento y ubicación del sensor de picado. ....	91
Figura 6.13:Esquema de sensor de pistoneo. ....	92
Figura 7.1:Esquema de ubicación de la sonda volumétrica en el plato sonda. ....	95
Figura 7.2:Esquema interno de sonda volumétrica. ....	96
Figura 7.4:Esquema sección sonda volumétrica .....	97
Figura 7.5:Esquema del potenciómetro de la sonda volumétrica de plato. ....	98
Figura 7.6:Grafica que muestra la función de transferencia del sensor volumétrico....	98
Figura 7.7:Esquema de despiece del medidor de masa de aire por hilo caliente.....	99
Figura 7.8:Despiece del medidor de masa de aire por hilo caliente.....	100
Figura 7.9:Fotografía de un cuerpo tubular con hilo de platino calefactable.....	101
Figura 7.10: Esquema eléctrico del medidor de masa de aire por hilo caliente.....	101
Figura 7.11 y 7.12:Esquema de medidor de masa de aire por película caliente. ....	103
Figura 7.13: Funcionamiento de sensor de masa de aire caliente por película.....	104
Figura 7.14:Esquema del sistema de inyección Renix de Renault. ....	105
Figura 7.15:Sensor de presión del sistema de inyección D-Jectronic de Bosch.....	106

Figura 7.16:Esquema de sensor de presión absoluta.....	107
Figura 7.17:Esquema de sensor de presión absoluta con compensador de altitud. ....	107
Figura 8.1:Circuito divisor de tensión.....	109
Figura 8.2: tabla con mediciones de temperatura que se efectúan en el automóvil. .	109
Figura 8.3:Función de transferencia sensor temperatura del refrigerante. ....	110
Figura 8.4: Esquema de sensor de temperatura NTC.....	112
Figura 8.5:Fotografía sensor de temperatura NTC para líquidos.....	112
Figura 8.6:Función de transferencia de un sensor de temperatura NTC.....	113
Figura 8.7:Esquema sensor temperatura. ....	114
Figura 8.8:Fotografía de sensor de temperatura NTC para aire. ....	115
Figura 9.1:Unidad de control de una sonda Lambda. ....	118
Figura 9.2:Esquema de un sensor para determinar la calidad de aire.....	119
Figura 9.3:Esquema de sensor para determinar humedad.....	120
Figura 9.4:Fotografía de unas sondas Lambda de Bosch. ....	120
Figura 9.5:Diagrama de bloques y función de transferencia de una sonda Lambda...	121
Figura 9.6:Esquema de ubicación de sonda Lambda. ....	122
Figura 9.7: Esquema de sonda Lambda no calefaccionada.....	123
Figura 9.8: Esquema sonda Lambda calefaccionada.....	124
Figura 9.9:Fotografía de sensores Lambda digitiformes. ....	124
Figura 9.10:Esquema de sonda lambda plana.....	125
Figura 9.11:Esquema de sonda lambda plana modelo LSF4 de Bosch. ....	127
Figura 9.12: Esquema de sonda lambda plana modelo LSF8 de Bosch.....	127
Figura 9.13:Grafica que muestra función de transferencia de sonda lambda plana...	128
Figura 9.14:Esquema de ubicación de sondas lambda en catalizador.....	129
Figura 9.15:Esquema circuito de sonda lambda plana de banda ancha.....	130
Figura 9.16:Esquema de sonda lambda de banda ancha LSU4.de Bosch. ....	131
Figura 11.1:Diagrama de bloques general de un SAD. ....	140
Figura 11.2:Diagrama de diferentes tipos de multiplexores.....	142
Figura 11.3:Sample and Hold.....	142
Figura 11.4:Ecuación del Sample and Hold.....	142
Figura 11.5:Esquema general del A/D. ....	143
Figura 11.6:Ecuación para el modo unipolar del A/D. ....	143
Figura 11.7:Ecuación para el modo bipolar del A/D.....	144
Figura 11.8:Estructura general de un D/A.....	144
Figura 11.9:Ejemplo de transición donde ocurre el glitch. ....	145
Figura 11.10:Conexión de un conversor D/A con más de 8 bits. ....	145
Figura 11.11:Función de transferencia ideal de un convertidor A/D.....	147
Figura 11.12:Grafica en respuesta de sistema de segundo orden.....	149
Figura 11.13:Diagrama de bloques de ASIC CC212. ....	152
Figura 11.14:Diagrama de bloques de ASIC CC195. ....	153
Figura 11.15:Diagrama de bloques ASIC para evaluación de señales de aceleración.	154
Figura 11.16: Circuito integrado con sensor, amplificador y EEPROM. ....	155
Figura 11.17: Diagrama de bloques del futuro ASIC. ....	155
Figura 13.1: Circuiteria empleada para la adquisición estática. ....	159
Figura 13.2: Conexionado del sensor inductivo a la bujía.....	160
Figura 13.3:Dibujo explicativo del funcionamiento por pulsos ópticos.....	161
Figura 13.4: Dibujo explicativo del funcionamiento por inducción de arrastre.....	162





Figura 13.5: Bloques de un sensor inductivo de proximidad .....	163
Figura 13.6: Fotografía de sensor inductivo de proximidad. ....	164
Figura 13.7: Fotografía del banco de potencia construida.....	165
Figura 13.8:Fotografía de la rueda dentada y el rodillo de inercia. ....	166
Figura 13.9:Fotografía circuito adaptación de la señal del sensor de proximidad .....	167
Figura 13.10 y 13.11: Sensores de temperatura tipo NTC .....	168

## 1. INTRODUCCIÓN

Los automóviles actuales tienen una cantidad importante de sensores (de 60 a 70 sensores en algunos casos). Estos sensores son necesarios para la gestión electrónica del automóvil y son utilizados por las unidades de control o centralitas que gestionan el funcionamiento del motor, así como la seguridad y el confort del vehículo.

Con el presente estudio se pretende dar a conocer muchos de estos sensores, detallando su forma de funcionamiento, la construcción interna que presentan, las aplicaciones más usuales y los principios físicos por los que se rigen.

El estudio comienza en un primer capítulo por situar al lector en la definición del sensor, ya que en los próximos seis capítulos, se profundiza en ellos. Cada uno de estos seis capítulos está enfocado a explicar un tipo de sensores diferente, atendiendo a la magnitud que miden, es por ello que se clasifican los sensores de posición, velocidad, aceleración, caudal, temperatura y sondas de gas.

El capítulo diez pretende dar a conocer los criterios generales de decisión a la hora de escoger adecuadamente un sensor u otro.

En los capítulos once y doce se habla de las tarjetas de adquisición de datos, parte fundamental en toda medición para adaptar la señal y poder volcar la información al ordenador, donde posteriormente será procesada y estudiada.

En el último capítulo se explica el sistema que he diseñado.

Todo el documento está estructurado con la intención de tener un orden claro y conciso, además el vocabulario usado es sencillo sin abandonar los tecnicismos.

## 2. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo del siguiente proyecto consiste en realizar un estudio sobre los diferentes dispositivos existentes en el mercado.

La búsqueda de elementos abarcara todo componente necesario para realizar una lectura de datos en una motocicleta de competición con un motor de combustión de dos tiempos y 125 cm<sup>3</sup>, todo ello como participante de la competición MotoStudent.

Acorde con los resultados obtenidos, las decisiones tomadas por el conjunto del equipo, y sobretodo limitados por un ajustado presupuesto, se toman decisiones para leer unas lecturas determinadas y en consecuencia se escogen los sensores necesarios para ello, se adaptan y preparan las señales obtenidas y se programa la centralita elegida para formar el conjunto de adquisición.

No solo están los objetivos técnicos, también pretendo llegar a construir algo competitivo, poder estar en la carrera con mi equipo, representando a las empresas que confiaron desde un inicio en nosotros. Quiero saber desenvolverse mejor en un mercado difícil, aprender a no tener miedo a esas cosas que resultan oscuras y desconocidas.

Parecen muchos los objetivos, pero considero que todos son igual de importantes y por eso el esfuerzo que he realizado durante todo este tiempo ha ido encaminado a cumplir cada uno de ellos.

### 3. SENSORES: CLASIFICACION Y PARTICULARIDADES

#### 3.1. Definición de sensor

El sensor, también llamado sonda o transmisor, convierte una magnitud física como la temperatura, las revoluciones del motor, o química como los gases de escape, la calidad de aire, que generalmente no son señales eléctricas, en una magnitud eléctrica que pueda ser entendida por la unidad de control.

La señal eléctrica de salida del sensor no es considerada solo como una corriente o una tensión, sino también se consideran las amplitudes de corriente y tensión, la frecuencia, el periodo, la fase o asimismo la duración de impulso de una oscilación eléctrica, así como los parámetros eléctricos "resistencia", "capacidad" e "inductancia".

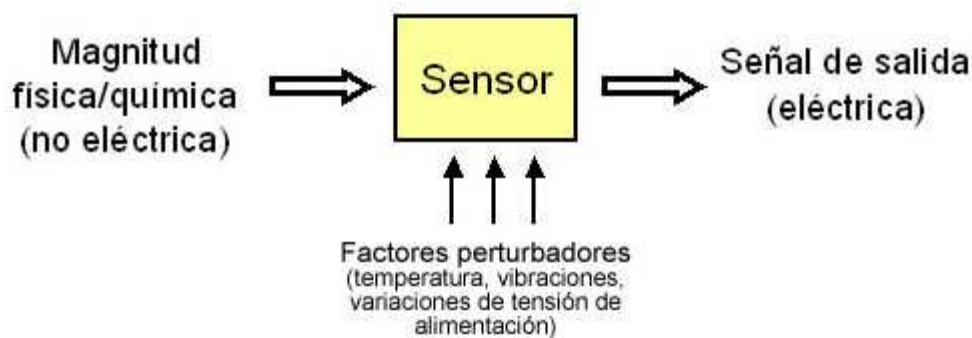


Figura3.1:Diagrama de bloques de un sensor.

El sensor se puede presentar como un "sensor elemental" o un "sensor integrado" este ultimo estaría compuesto del sensor propiamente dicho mas la parte que trataría las señales para hacerlas comprensibles por la unidad de control.

La parte que trata las señales generadas por el sensor, se encarga en general de dar a las señales de los sensores la forma normalizada necesaria para ser interpretada por la unidad de control.

Existen un gran número de circuitos integrados que se adaptan a la medida de los sensores y además son ajustados a cada tipo de vehículo.

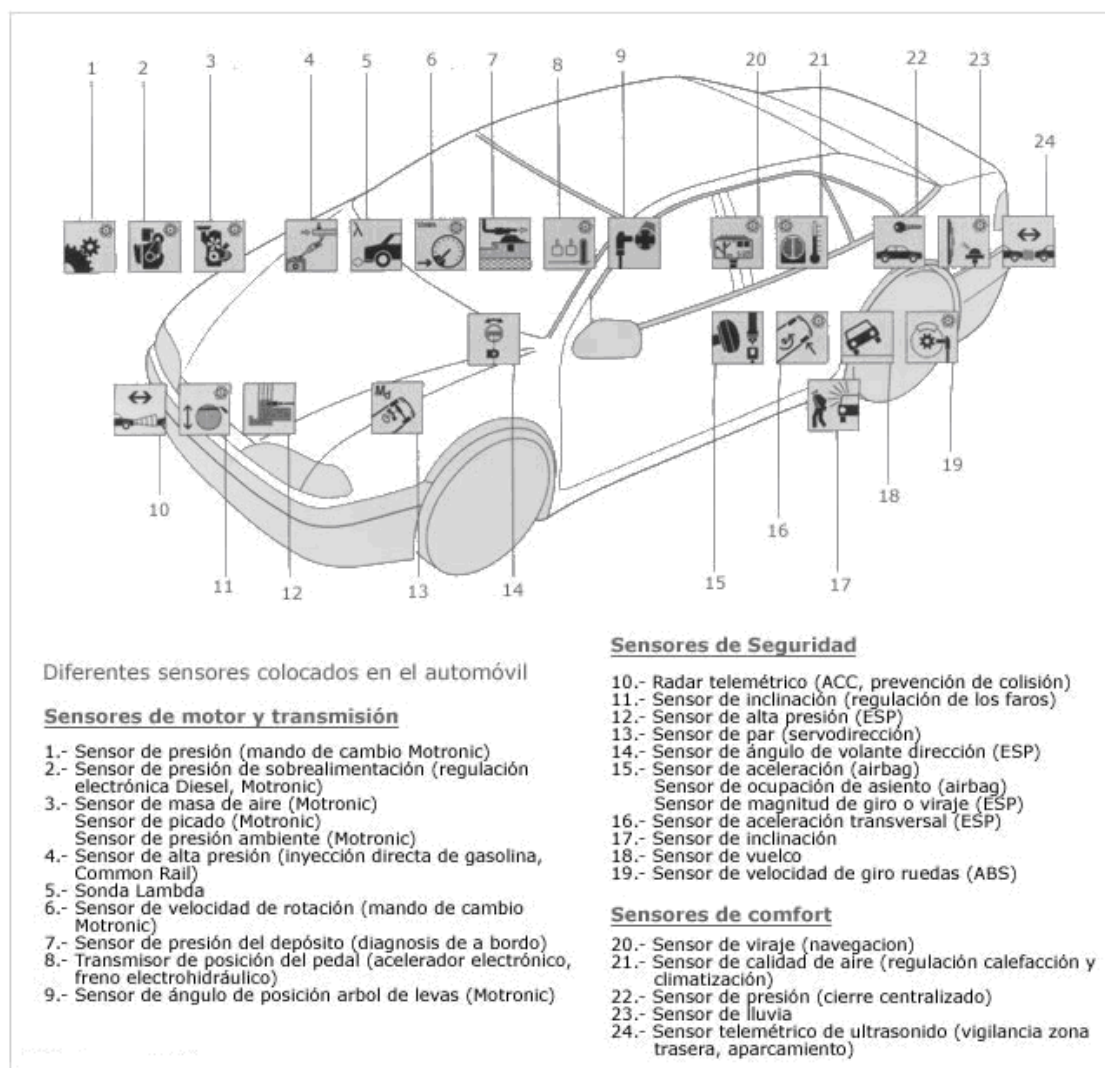


Figura 3.2: Diferentes sensores en un vehículo.

### 3.2. Sensor, transductor y captador

Mencionare los términos captador y sensor, y a veces se utilizan indistintamente con cierta ambigüedad. Y en nuestro caso, mas exacto todavía, que el termino de captador seria el de transductor. Veamos así las diferencias:

Utilizaremos sensor cuando nos refiramos al elemento sensible primario, en el cual una de sus características eléctricas, tal como la resistencia, la inductancia o la capacidad, cambia proporcionalmente con una variable determinada.

De la misma manera llamaremos transductor al dispositivo que contiene un determinado elemento sensor y la configuración necesaria para transformar la variable mecánica a medir (presión, aceleración, desplazamiento lineal o angular, etc.) en la magnitud física capaz de actuar directamente sobre el sensor. En la mayoría de los casos, el transductor incorpora al sensor algo mas que la adecuada configuración mecánica, para obtener una medida de calidad industrial, hay que añadir al sensor varios

circuitos de compensación: equilibrado, ajuste y balance de cero, compensaciones térmicas, etc. Según la tecnología base del sensor, (inductiva, piezoeléctrica, extensiométrico, capacitiva) la circuitería de compensación será distinta pero siempre necesaria.

Por ultimo llamaremos captador como sinónimo de traductor, pero su significado no es exactamente el mismo, sino se produce una transformación de la señal física en señal eléctrica habrá captación pero no traducción.

### 3.3. Clasificación de los sensores

Los sensores para automóviles pueden clasificarse teniendo en cuenta distintas características como son:

#### Función y aplicación

Según esta característica los sensores se dividen en:

- Sensores funcionales destinados a tareas de mando y regulación
- Sensores para fines de seguridad y aseguramiento.
- Sensores para diagnosis de a bordo, magnitudes de consumo y desgaste y para la información del conductor y de los pasajeros.

#### Según la señal de salida

Teniendo en cuenta esta característica los sensores se pueden dividir en:

- Los que proporcionan una señal analógica

Ejemplo: caudalímetro, la presión del turbo, la temperatura del motor etc.

- Los que proporcionan una señal digital

Ejemplo: señales de conmutación como la conexión/desconexión de un elemento o señales de sensores digitales como impulsos de revoluciones de un sensor Hall.

- Los que proporcionan señales pulsatorias

Ejemplo: sensores inductivos con informaciones sobre el numero de revoluciones y la marca de referencia

#### Según la magnitud de salida

- Sensor de corriente

Convierte una magnitud física en un nivel de corriente directa e equivalente, este tipo de sensor tiene como ventaja principal que el nivel de corriente obtenido puede ser transportado a distancias grandes sin que se produzcan perdidas significativas, su

desventaja a la vez consiste en que la corriente siempre tiene que ser convertida a voltaje antes de suministrársele aun conversor A-D.

#### Ejemplos de sensores de corriente

AD-590: Este es un circuito integrado, que funciona como una fuente de corriente dependiente de la temperatura:

$$I_{sal} = 1\mu A * T(^{\circ}C) + 273.2 \mu A$$

La gran mayoría de los sensores industriales de corriente están normalizados para transmitir un rango de corriente entre los 4 - 20 miliamperios, por ser considerado este un rango óptimo para su transportación.

- Sensor de Voltaje

Este tipo de sensor es el que entrega un nivel de voltaje equivalente a la señal física que se mide, normalmente los sensores industriales capaces de entregar un nivel de voltaje tienen incorporado circuitos acondicionadores, tales como Amplificadores de instrumentación y operacionales, comparadores, etc. Este tipo de sensores muchas veces incorpora resistores variables que permiten ajustar el rango de voltaje que ellos entregan al rango que nuestro conversor necesita, esta es su gran ventaja, a su vez su desventaja es que la señal por ellos generada no puede ser transmitida mas haya de unos pocos metros sin que se produzcan perdidas en la misma.

#### Ejemplo de sensor de voltaje

Las celdas foto voltaicas actúan como sensor de voltaje capaces de convertir un nivel de iluminación en una señal de voltaje equivalente.

- Sensor Resistivo

Este es un tipo de sensor que convierte la variación de una señal física en una variación de resistencia, entre los más comunes tenemos las termo resistencias. El inconveniente de este tipo de sensor es que se debe utilizar un puente de Wheastone en algunas de sus variantes para convertir la variación de resistencia en una variación de voltaje.

#### Ejemplo de sensor de voltaje

Termo resistencia PT-100  $R_t = 300\text{ohms} + 0.38\text{ohms} * T(^{\circ}C)$ . Usualmente conectamos la termo resistencia en un puente de Wheastone balanceado de la siguiente forma:

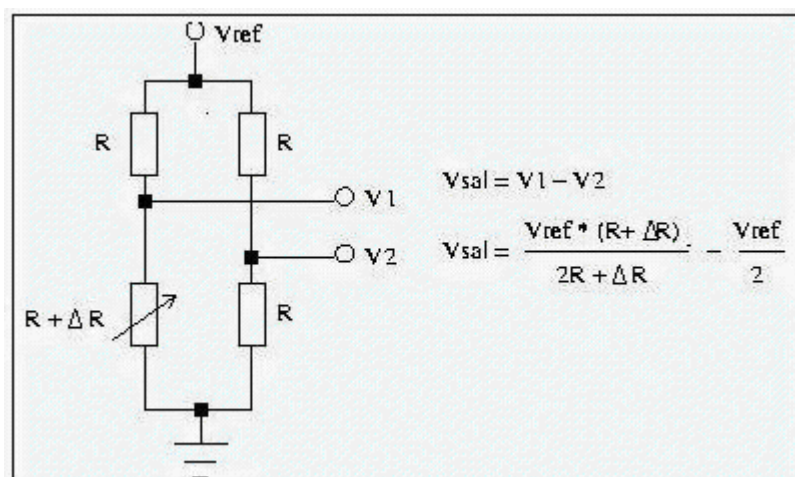


Figura 3.3: Conexión de una Termoresistencia en un puente de Wheastone.

La anterior conexión del puente de Wheastone, proporciona una variación muy pequeña del voltaje para una variación de temperatura, aproximadamente 1.6mV por cada grado centígrado, con un voltaje de referencia de 10V, con vistas a aumentar la variación de voltaje para una misma variación de temperatura se pueden escoger configuraciones de 2 ó 4 termo resistencias. Para la configuración de 2 termo resistencias se puede lograr una variación aproximada de 6.2mV por grado centígrado para un voltaje de referencia de 10V y para la configuración de 4 termo resistencias de aproximadamente 13mV en las mismas condiciones.

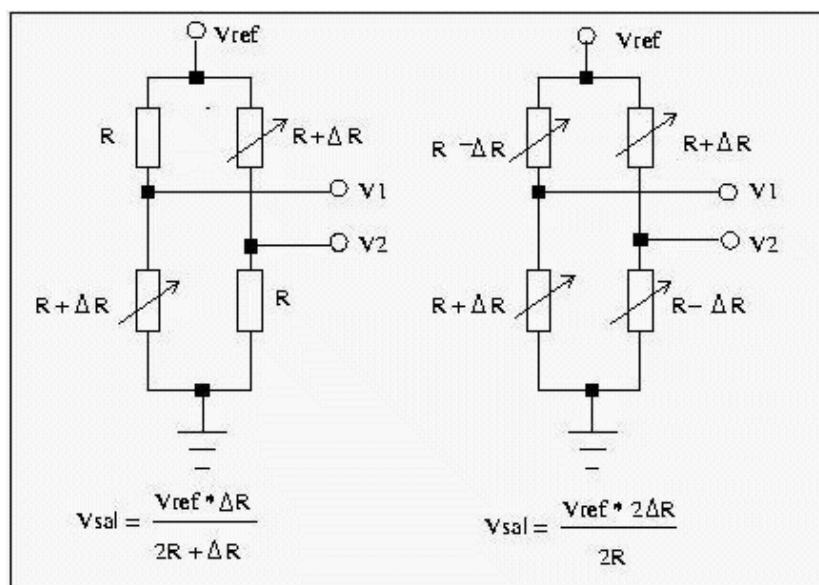


Figura 3.4: Puente de Wheastone con 2 y 4 termo resistencias.



### 3.4. Particularidades de los sensores del automóvil

A diferencia de los sensores convencionales, los utilizados en el sector del automóvil están diseñados para responder a las duras exigencias que se dan en el funcionamiento de los vehículos a motor, teniendo en cuenta una serie de factores como son los que se ven en la figura inferior:



Figura 3.5: Factores que influyen en las exigencias de un sensor

#### Alta fiabilidad

Con arreglo a sus funciones, los sensores para el sector del automóvil se pueden ordenar en tres clases de fiabilidad según su importancia:

- Dirección, frenos, protección de los pasajeros
- Motor/cadena cinemática, tren rodaje/neumáticos
- Confort, diagnosis, información y protección contra el robo.

Las exigencias más altas en el sector del automóvil se corresponden con las exigencias que se utilizan en los sectores de la aeronáutica y astronáutica.

La fiabilidad de los sensores es garantizada por técnicas de construcción que utilizan componentes y materiales sumamente seguros.

Se procura la integración consecuente de los sistemas para evitar en lo posible conexiones separables y el riesgo de fallos en los mismos. Cuando es necesario, se emplean sistemas de sensores redundantes, es decir, sensores de igual función que, por razones de seguridad, efectúan mediciones paralelas.

#### Bajos costes de fabricación

Comparado estos sensores con otros utilizados en otros campos, tienen un reducido coste de fabricación. Estos costes pueden llegar a ser: hasta 100 veces inferior al coste de fabricación de sensores convencionales de igual rendimiento.

Como excepción están los sensores que pertenecen a nuevas tecnologías que se aplican al automóvil, los costes iniciales de estos son normalmente más altos y van luego disminuyendo progresivamente.

#### Duras condiciones de funcionamiento

Los sensores se hallan en puntos particularmente expuestos del vehículo. Están sometidos por tanto a cargas extremas y han de resistir toda clase de esfuerzos:

- Mecánicos (vibraciones, golpes)
- Climáticos (temperatura, humedad)
- Químicos (salpicaduras de agua, niebla salina, aceite motor, ácido de batería)
- Electromagnéticos (irradiaciones, impulsos parásitos procedentes de cables, sobretensiones, inversión de polaridad).

Por razones de eficacia los sensores se sitúan preferentemente en los puntos donde se quiere hacer la medición, esta disposición tiene el inconveniente de que el sensor está más expuesto, a interferencias de todo tipo, como las enumeradas anteriormente.

#### Alta precisión

Comparada con las exigencias impuestas a los sensores de procesos industriales, la precisión requerida de los sensores del automóvil es, salvo pocas excepciones (sondas volumétricas de aire), más bien modesta.

Las tolerancias admisibles son en general mayor o igual a 1% del valor final del alcance de medición, particularmente teniendo en cuenta las influencias inevitables del envejecimiento. Para garantizar la alta precisión, es suficiente de momento disminuir las tolerancias de fabricación y refinar las técnicas de equilibrado y compensación.

Un avance importante vino con la integración híbrida o monolítica del sensor y de la electrónica de tratamiento de señales en el punto mismo de medición, hasta llegar a obtener circuitos digitales complejos tales como los convertidores analógico-digitales y los microordenadores.

Los llamados "sensores inteligentes" utilizan hasta el máximo la precisión intrínseca del sensor y ofrecen las siguientes posibilidades:

- Alivio de la unidad de control.
- Interfase uniforme, flexible y compatible con el Bus.
- Utilización de los sensores por varios sistemas.
- Aprovechamiento de efectos físicos de reducida amplitud, así como de efectos de medición de alta frecuencia (amplificación y desmodulación en el mismo lugar).
- Corrección de divergencias del sensor en el punto de medición, así como equilibrado y compensación comunes del sensor y de su electrónica, simplificadas y mejoradas por memorización de las informaciones correspondientes en una memoria PROM.

El siguiente cuadro muestra la evolución de los sensores con el paso de los años, aunque es particular para el caso del automóvil, se podría extrapolar a cualquier sector de la industria, ya que todos han evolucionado de la misma manera. Además muchos sensores usados en el automóvil son también utilizados en otros procesos.

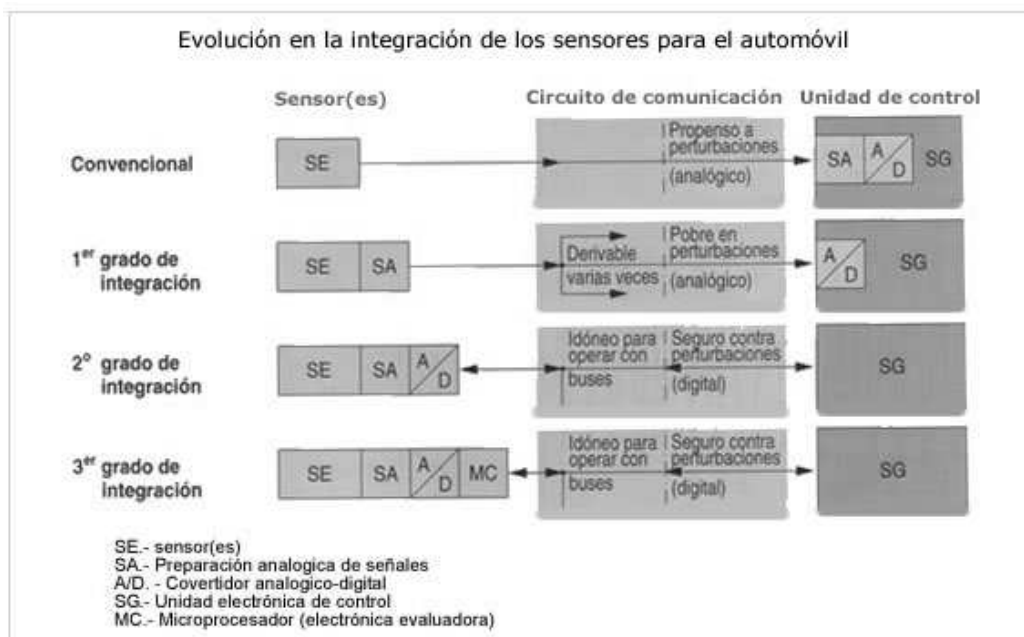


Figura 3.6:Generaciones de los sensores del automóvil

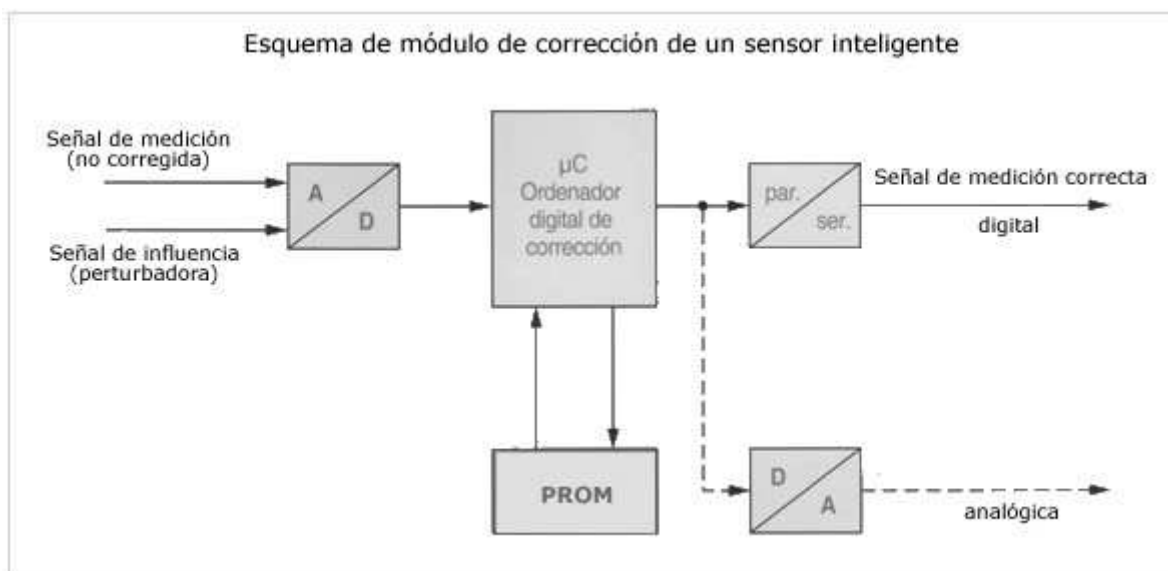


Figura 3.7: Diagrama de bloques de un sensor de ultima generación



Figura 3.8: Comparador de dos sensor de presión de diferentes generaciones

### 3.5. Tecnologías de transducción

La transformación de una magnitud física cualquiera en una señal eléctrica se conoce bajo el nombre de traducción las posibilidades de traducción actualmente disponibles son muy numerosas. En principio el fenómeno de la traducción puede ser activo, en el caso de que la magnitud física a detectar proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica o pasivo, cuando la magnitud a detectar se limita a modificar algunos de los parámetros eléctricos característicos del elemento sensor, tales como resistencia, capacidad, reluctancia...

Desde el punto de vista del usuario, el hecho de que el traductor sea activo o pasivo no reviste especial importancia. Siempre será necesario algún acondicionamiento de la señal eléctrica, aunque no se precisa alimentación.

En resumen y como primera clasificación a todas las tecnologías, comentare una pequeña descripción de cada una de ellas, aunque posteriormente profundizare mas al hablar de cada tipo de sensor. Es imprescindible un conocimiento mínimo para poder establecer un criterio aunque sea básico, de selección del tipo de transductor a elegir en una determinada aplicación:

El efecto piezoeléctrico es energéticamente activo. Si entre dos placas de metal se introduce un cristal de cuarzo, natural o sintético y se someten las placas a una presión mecánica se almacenara sobre cada una de ellas una carga eléctrica de igual valor pero de distinto signo. Con un amplificador de carga se transforma la variación de carga en una salida de tensión proporcional a la presión mecánica aplicada.

Los traductores que se emplean en aplicaciones cuyas variables evolucionan muy rápidamente, se basan en este principio.

Los traductores potenciométricos se basan en el desplazamiento de un cursor sobre una pista conductora bajo el control de un dispositivo de guiado, en función de una presión, desplazamiento, etc. Las ejecuciones pueden variar según los fabricantes pero su campo de aplicación es siempre el mismo, solo para magnitudes de lenta variación.

La variación de resistencia óhmica que experimenta un conductor al cambiar su longitud es el principio de traducción que se utiliza principalmente en la construcción de traductores de uso industrial. Se consiguen traductores robustos, con un amplio rango de medida y buena precisión, que pueden trabajar tanto en régimen estático como dinámico.

El efecto hall tiene lugar cuando entre las placas norte y sur de un imán se sitúa una placa conductora no ferromagnética: si se hace atravesar una corriente eléctrica por la placa, perpendicular al campo magnético, esta tiende a desplazarse en un sentido perpendicular a ambas. También se puede producir el efecto inverso, si la placa se desplaza, se genera una corriente.

El efecto capacitivo puede utilizarse de varias maneras. La capacidad entre dos placas separadas por un dieléctrico es proporcional a la constante dieléctrica y al factor de geometría del sistema. Los traductores basados en el efecto capacitivo presentan una excelente inmunidad al ruido, son muy estables y presentan histéresis y linealidad mejores al 0.01.% de escala. En general, todos los captadores miden tanto valores positivos como negativos, a no ser que su configuración constructiva lo haga imposible.

La inducción mutua entre dos bobinas es el fundamento del transformador de tensión. Si una de las bobinas se alimenta en corriente alterna se produce un flujo alternativo que al ser cortado por las espiras de la otra bobina se induce en ella una fuerza electromotriz. Si medio secundario se bobina en sentido contrario al otro medio (transformador diferencial) la salida será nula, a no ser que la mayor o menor introducción de un núcleo ferromagnético haga variar la inductancia entre las bobinas en cuyo caso la salida corresponderá únicamente a esta variación del campo. El desplazamiento de un núcleo de material ferromagnético en el interior de las bobinas del transformador diferencial alimentado en corriente alterna, proporciona una variante de la tensión también alterna, de salida en bornes de la bobina del secundario. La respuesta es lineal en un amplio margen de trabajo, debido principalmente al mismo principio de medida y a las características constructivas del captador.

Otro método inductivo es el de reluctancia variable , en una bobina alimentada con una corriente alterna la variación de reluctancia solo modificara uno de sus parámetros, la autoinducción, y por tanto también la intensidad de la corriente a circular por ella. Es una traducción pasiva porque solo varían las características eléctricas del circuito. Se consiguen traductores con muy buena respuesta en frecuencias elevadas, hasta 5 KHZ, pero la precisión es menor que con captadores resistivos, y la alimentación en alterna es mas compleja porque esta exige la rectificación de la señal.

Hay otros muchos principios de traducción ampliamente utilizados en la industria a demás de los que se han indicado anteriormente, pero su explicación no es lo suficientemente relevante para este Proyecto.

## 4. SENSORES DE POSICIÓN (RECORRIDO/POSICIÓN ANGULAR)

### 4.1. Descripción general

Los sensores de posición sirven para detectar recorridos y posiciones angulares y son los sensores más utilizados en los vehículos motorizados. Desde hace tiempo se investiga para sustituir los sensores con contacto (por medio de cursores), por otros sin contacto, que no estén sometidos a desgastes y por tanto ofrezcan una duración más larga y una mayor fiabilidad, pero esto es en teoría, en la realidad todavía se siguen usando sensores de cursor por motivos económicos y por que estos cumplen aun bien su tarea en diferentes puntos del automóvil.

A continuación en la siguiente tabla se muestran los puntos del automóvil donde se utilizan los sensores de posición, así como las magnitudes aproximadas de medición.

Magnitud de medición	Valor del campo de medición
Posición de la mariposa de un motor de gasolina	90°
Posición del pedal del acelerador/freno	30°
Recorrido y posición de la varilla de regulación de una bomba de inyección diesel en línea	21 mm
Posición angular del mecanismo de control del caudal de una bomba rotativa inyección Diesel	60°
Nivel de llenado del depósito de combustible	20 .....50 cm
Carrera del actuador del embrague	50 mm
Distancia vehiculo - vehículo o vehículo - obstáculo	150 m
Angulo de la dirección (volante)	$\pm 2 \times 360^\circ$ ( $\pm 2$ vueltas)
Angulo respecto a sentido de marcha	360°
Angulo de inclinación	15°
Desplazamiento de plato sonda (caudal)	30 .....90°
Recorrido de compresión de los elementos de suspensión	25 cm

Figura 4.1:Tabla indicativa con varios sensores de posición y su rango de medición



## 4.2. Principios de medición

Para medir recorridos o posiciones angulares podemos utilizar sensores que utilicen sistemas basados en diferentes principios de medición como son:

- Sensores de potenciómetro
- Sensores inductivos
- Sensores magneto estáticos (efecto Hall)
- Sensores de propagación de ondas (ultrasónicos y electromagnéticos)

### 4.2.1. Sensores de potenciómetro

El potenciómetro de cursor utiliza como principio de medición la equivalencia existente entre la longitud de una resistencia alámbrica, en forma de cable o hilo o de capa, en forma de pista y su valor óhmico. Actualmente es el sensor de posición más económico.

Para evitar sobrecargas, generalmente esta aplicada la tensión al punto de medición a través de pequeñas resistencias en serie  $R_v$ , esta resistencia también se usa para el calibrado del punto cero y el ajuste de la elevación.

La forma dada al contorno de la pista de medición influye en el trazado de la curva característica. La conexión del cursor se efectúa generalmente a través de la segunda pista de contacto de igual superficie, que tiene debajo una capa de material conductor de bajo valor óhmico.

Un bajo amperaje de la corriente de salida ( $I_A < 1 \text{ mA}$ ) y un encapsulado a prueba de polvo contribuyen a reducir el desgaste y el falseamiento de los valores medidos. Por otra parte un par de fricción óptimo formado por el cursor y la pista de contacto constituyen a una condición previa para un desgaste reducido; el cursor puede tener entonces la forma de una "cuchara" o de un "rascador" y disponer de una sola o de varias ramas, teniendo incluso la forma de una "escoba".

#### Ventajas:

- Estructura sencilla y fácil de comprender.
- Margen de medición elevado tanto en recorrido como en tensión a utilizar.
- No se requiere electrónica de adaptación.
- Buena resistencia a tensiones parasitas.
- Amplia gama de temperaturas de funcionamiento ( $< 250^\circ \text{C}$ ).
- Alta precisión (menor de 1% de desviación).
- Amplio campo de medición (cubre casi  $360^\circ$ )
- Ejecución de redundancia sin problemas.
- Facilidad de calibrado (por láser, etc.)
- Montaje flexible (sobre superficie plana o curvada)
- Numerosos fabricantes



Desventajas:

- Desgaste mecánico, abrasión.
- Errores de medición a causa de restos de abrasión.
- Problemas en caso de utilizarlo dentro de un líquido.
- Variación de la resistencia de contacto entre cursor y medición.
- Levantamiento del cursor en caso de aceleraciones o vibraciones.
- Miniaturización limitada.
- Producción de ruido.

#### 4.2.2. Sensores inductivos

De todos los principios de medición de posición sin contactos, los sensores inductivos son particularmente insensibles a las perturbaciones y muy robustos.

Las disposiciones de bobinas necesarias para esos sensores requieren sin embargo mucho más espacio en comparación con los sensores micro mecánico, no facilitando por ejemplo, la realización de un montaje redundante ya que la medición se realiza en paralelo. Además la conexión que requieren las bobinas constituye un factor poco favorable respecto a los costes y a la fiabilidad.

Dentro de los sensores inductivos tenemos los "sensores de anillo de cortocircuito" que están formados por una bobina con núcleo de material magnético dulce, generalmente chapeado, en forma de U o de E derecha o curvada. La placa móvil es la que llamamos "anillo de cortocircuito" de material conductor como el cobre o aluminio, que puede desplazarse sobre uno o sobre todos los brazos del núcleo. Este tipo de sensor tiene un valor de inductancia alto y puede funcionar a bajas frecuencias (5... 50 KHz. según el material y la forma). No es imprescindible que se utilicen circuitos electrónicos de adaptación de la señal en el mismo sensor.

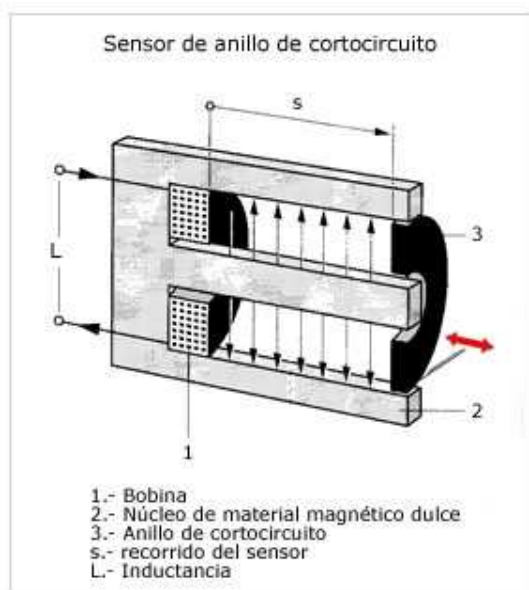


Figura 4.2: Sensor inductivo en anillo de cortocircuito.

### 4.2.3. Sensores magneto estáticos

Estos sensores sirven para medir un campo magnético de corriente continua. Al contrario de los sensores inductivos son mucho más apropiados para la miniaturización y se pueden fabricar económicamente con los medios de la tecnología de los microsistemas. Dentro de estos sensores los más extendidos son los galvano magnéticos de efecto Hall, principalmente.

#### 4.2.3.1. Sensores de efecto Hall

Los sensores de "efecto Hall" basan su funcionamiento en hacer pasar una corriente eléctrica a través de una placa Hall (M), en el sentido representado por  $I_v$  y a su vez se le somete a la acción de un campo magnético (B) cuyo flujo tenga sentido perpendicular a la corriente eléctrica.

Cuando se hace variar el flujo magnético aparece una tensión ( $U_H$ ) entre las placas de contacto (D1 y D2). Este efecto es particularmente acusado cuando la placa (M) sometida a la corriente eléctrica y la acción del campo magnético son de un material semiconductor.

Tanto las superficies conductoras situadas en los extremos (D1 y D2), como la placa de semiconductor, permanecen fijas sin someterse a movimiento alguno.

El campo magnético (B) es creado por unos imanes permanentes, situados lateralmente sobre la capa de semiconductor. Puede cortarse este campo magnético mediante una pantalla apropiada, de manera que en algunos momentos la placa de semiconductor no este sometida a él. La corriente  $I_v$  se mantiene constante por medio de una fuente de alimentación que se conecta a ambos laterales de la placa semiconductor.

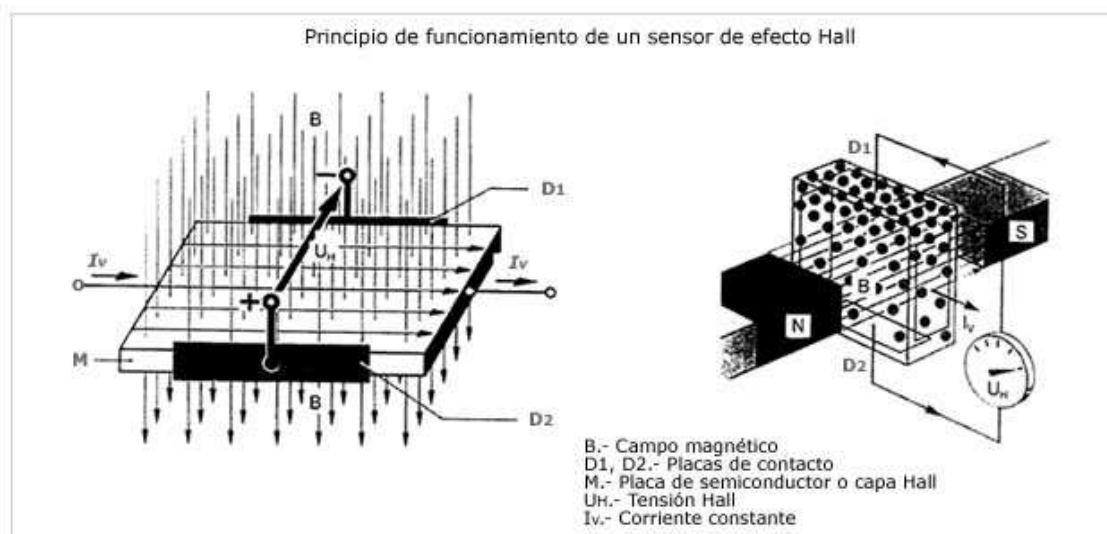


Figura 4.3: Funcionamiento de un sensor Hall.

#### 4.2.3.2. Sensores Hall diferencial

A parte de los sensores Hall sencillos se aplican también elementos Hall diferenciales, Estos constan de dos elementos Hall desfasados entre si. Estos suministran una señal de salida que es proporcional a la diferencia de la densidad de flujo entre los dos lugares de medición.

Las ventajas de la evaluación diferencial son un amplio margen de los entrehierros y una buena compensación de temperaturas. Los inconvenientes consisten en la dependencia de la posición de montaje y en la necesidad de una rueda transmisora de dos pistas para generar una señal en ambos elementos Hall.

#### 4.2.3.3.Sensores de propagación de ondas

Para la medición de distancias en el automóvil se pueden utilizar diferentes métodos:

- Sensores acústicos, emisión y recepción de impulsos ultrasónicos para medir el tiempo de propagación, la zona de alcance oscila entre 0,5.....5 m.
- Sensores ópticos de triangulación o medición del tiempo de propagación mediante la luz del campo infrarrojo inmediato, su zona de alcance medio es de hasta 50 m, y la detección por radar electromagnético, cuya zona de alcance es de hasta 150 m.

#### 4.2.3.4.Sensores acústicos (ultrasónicos)

Parecido al procedimiento de eco sondeo, los sensores emiten impulsos ultrasónicos de una frecuencia de aproximadamente 40 KHz. y detectan el tiempo que tardan en llegar los impulsos de eco reflejados por obstáculos.

La distancia que hay hasta el obstáculo más cercano se calcula a partir del tiempo de propagación del primer impulso de eco llegado y de la velocidad del sonido en el aire (340 m/s).

#### 4.2.3.5.Sensores electromagnéticos

En su funcionamiento los sensores electromagnéticos (radar) emiten paquetes de ondas milimétricas, que son reflejadas por las superficies de metal o material de alta di electricidad y son detectados de nuevo por el módulo receptor del radar. La duración y/o frecuencia de las señales recibidas es comparada con la de las señales emitidas. A fin de que la comparación pueda ser utilizada para las interpretaciones deseadas, el paquete de ondas que ha de ser emitido es conformado en función del transcurso frecuencia-tiempo.

Los modos más conocidos son la modulación de impulsos, en la que se forman impulsos de una dimensión de 10... 30 nanosegundos, y la modulación de frecuencia, que en el momento de la emisión varía la frecuencia momentánea de las ondas en función del tiempo.

La señal recibida ha de ser remodulada para que pueda suministrar la información deseada. Si se trata de una señal de modulación de impulsos, se mide el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción. La distancia puede ser determinada a partir de esta diferencia de tiempo y en relación con la velocidad de la luz (300.000 Km. /s). Si se trata de una modulación de frecuencia, la variación de la frecuencia tiene lugar durante la emisión.

### 4.3. Tipos de sensores de posición

Una vez hecha una primera clasificación de los sensores de posición existentes, vamos a detallar sensores concretos que se usan en la automoción.

- Potenciómetro de plato sonda .
- Sensor de mariposa.
- Sensores de anillos de cortocircuito semidiferencial.
- Sensor de nivel de combustible.
- Sensores de pedal acelerador.
- Sensores de ángulo del volante de dirección.
- Sensores de eje.
- Sensores ultrasónicos.
- Sensores electromagnéticos (radar).
- Regulador inteligente de velocidad de marcha ACC.

#### 4.3.1. Potenciómetro de plato sonda

##### Aplicación

Un potenciómetro detecta la posición, ángulo de giro, del plato sonda en el caudalímetro del sistema de inyección electromecánico de gasolina KE-Jetronic. El movimiento de este plato sonda, que sólo sufre un retardo insignificante en relación con el movimiento de la mariposa, determina la velocidad de aceleración.

Esta señal, que corresponde a la variación de la cantidad de aire aspirado en función del tiempo, aproximadamente a la potencia del motor, la suministra el potenciómetro del plato sonda a la unidad electrónica de control, que activa el actuador de presión electro hidráulico. En función del estado de funcionamiento del motor y de la señal de corriente condicionada por la unidad de control, el actuador de presión varía a su vez la presión en las cámaras de depresión de las válvulas de presión diferencial del distribuidor dosificador de combustible y, con ello, el caudal de combustible dosificado para las válvulas de inyección.

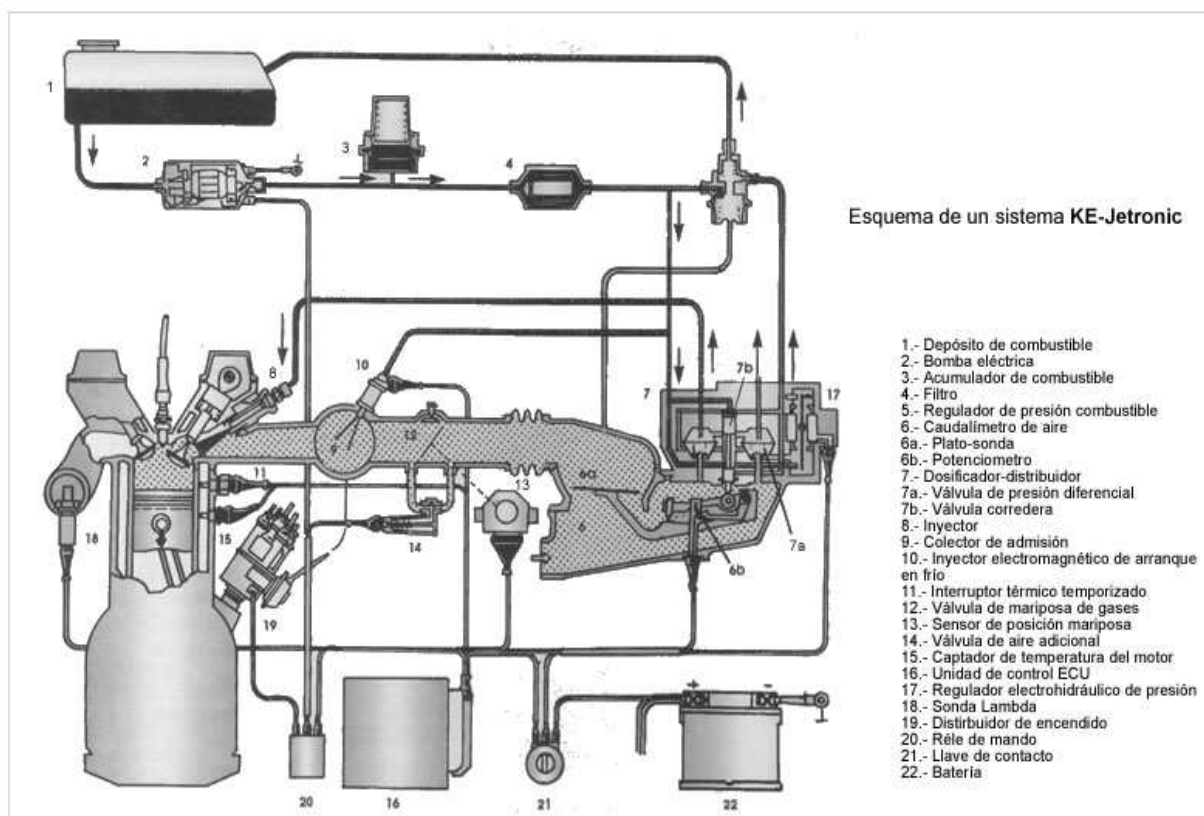


Figura 4.4:Esquema explicativo del sistema de inyección KE-Jetronic de gasolina.

## Estructura y funcionamiento

El potenciómetro de la sonda volumétrica de aire está construido según la técnica multicapas sobre un sustrato cerámico. Se trata de un sensor angular potenciométrico que aprovecha para la medición la proporcionalidad existente entre la longitud de una resistencia de capas (pista conductora) y su valor óhmico.

La curva característica del potenciómetro no es lineal, a causa de la variación del ancho de la pista. Por ello la señal de aceleración presenta su amplitud máxima en el caso de un movimiento partiendo de la posición de ralentí. Ella disminuye a medida que aumenta la potencia del motor.

Un cursor de escobilla se desliza sobre la pista del potenciómetro. La escobilla se compone de varios alambres muy finos soldados a una palanca. Los diversos alambres ejercen una presión reducida sobre la pista resistiva, siendo el desgaste por tanto extremadamente bajo. Merced al gran número de finos alambres, el cursor garantiza un buen contacto eléctrico incluso en caso de ser rugosa la superficie de la pista y de producirse movimientos muy rápidos. La palanca del cursor está sujeta al eje de la palanca del plato sonda. Ella está aislada eléctricamente de este eje.

La tensión del cursor la toma un segundo cursor de escobilla, que está unido eléctricamente con el cursor principal. El cursor puede salir hasta más allá del campo de medición por ambos lados, estando descartado por tanto un deterioro en caso de reflujos repentinos de la corriente de aire en el tubo de admisión.

Una resistencia eléctrica fija, realizada asimismo en técnica multicapas, y está conectada en serie al cursor para proteger el potenciómetro contra cortocircuitos.

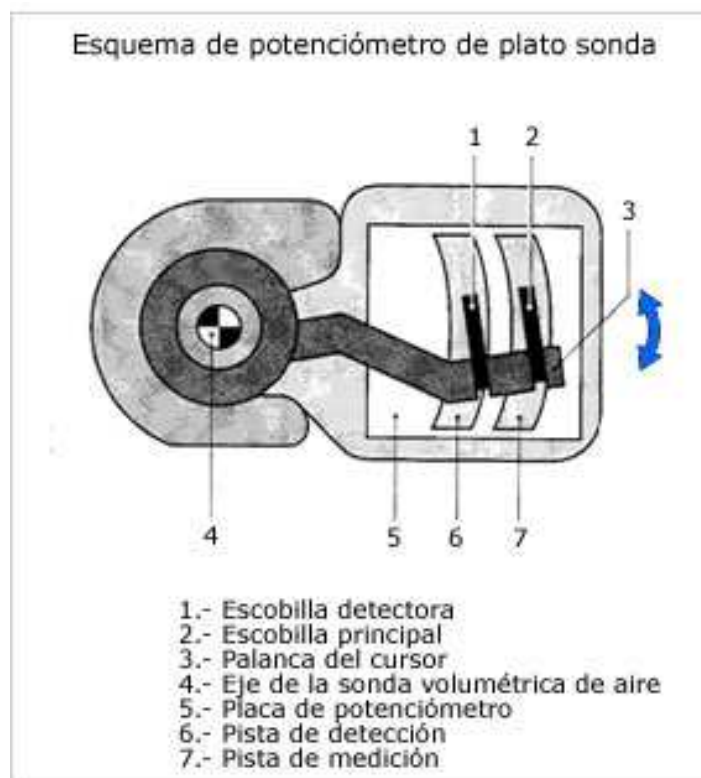


Figura 4.5:Esquema del sensor de plato sonda.

#### 4.3.2. Sensor de mariposa

##### Aplicación

Este sensor detecta el ángulo de giro de la mariposa de aire del motor de gasolina.

Esta señal se la obtiene de un potenciómetro eléctrico, el cual está alojado en el cuerpo de la mariposa de aceleración y el cual recibe el movimiento de la aleta a través del mismo eje, de tal manera que la resistencia variable del potenciómetro esté relacionada de acuerdo a la posición en la cual se encuentre la mariposa.



Los motores equipados con el sistema monopunto (Mono Motronic) disponen así de una señal de carga secundaria que es utilizada entre otras cosas como información adicional para funciones dinámicas, para identificar el régimen de funcionamiento (ralentí, carga parcial, plena carga) y como señal de marcha de emergencia en caso de fallar el sensor de carga principal (medidor de masa de aire). Para el empleo del sensor de mariposa como sensor de carga principal se consigue la precisión necesaria mediante dos potenciómetros para dos campos angulares.

El par motor exigido lo ajusta el sistema Mono Motronic mediante la mariposa de aire. Para comprobar si la mariposa ocupa la posición calculada, un sensor adecuado evalúa la posición de la mariposa (regulación de la posición). Para asegurar el funcionamiento, este sensor posee dos potenciómetros que trabajan en paralelo y con tensión de referencia separada.



Figura 4.6:Esquema de un sensor de mariposa

### Estructura y funcionamiento

El sensor de mariposa es un sensor angular potenciométrico de una o dos curvas características lineales.

Los cursores fijados en el brazo detector sujeto al árbol de la mariposa se deslizan a lo largo de las pistas resistivas correspondientes. El ángulo de giro de la mariposa es convertido así en una relación de tensiones  $U_A/U_V$  proporcional a este ángulo, siendo la tensión de funcionamiento  $U_V = 5\text{ V}$ .

A este potenciómetro se lo alimenta con una tensión de referencia, la cual generalmente es de 5 Voltios, provenientes de un regulador de voltaje del mismo computador. Cuando la mariposa de aceleración se encuentra en su posición de reposo, la cantidad de tensión que se envía como señal será de unas cuantas décimas de voltio y esta señal se irá incrementando paulatinamente, de acuerdo al incremento en el movimiento de la mariposa, hasta llegar al tope de la escala, la cual nos dará un valor cercano a los 5 Voltios de la referencia.

Esta señal variable de tensión eléctrica se dirige de regreso al computador, el cual identifica esta tensión como una posición exacta de la mariposa de aceleración.

Adicionalmente algunos sistemas tienen un interruptor que conecta dos contactos en la posición de reposo de la mariposa, los cuales pueden estar alojados en el mismo cuerpo del potenciómetro; este interruptor sirve como una señal adicional para que el computador determine la desaceleración del motor, lo cual sirve para que se corte el envío de combustible hacia los inyectores en esta etapa, reduciendo enormemente el consumo de combustible del motor.

La conexión del cursor se efectúa generalmente a través de una segunda pista de contacto de igual superficie, que tiene debajo una capa de material conductor de baja impedancia.

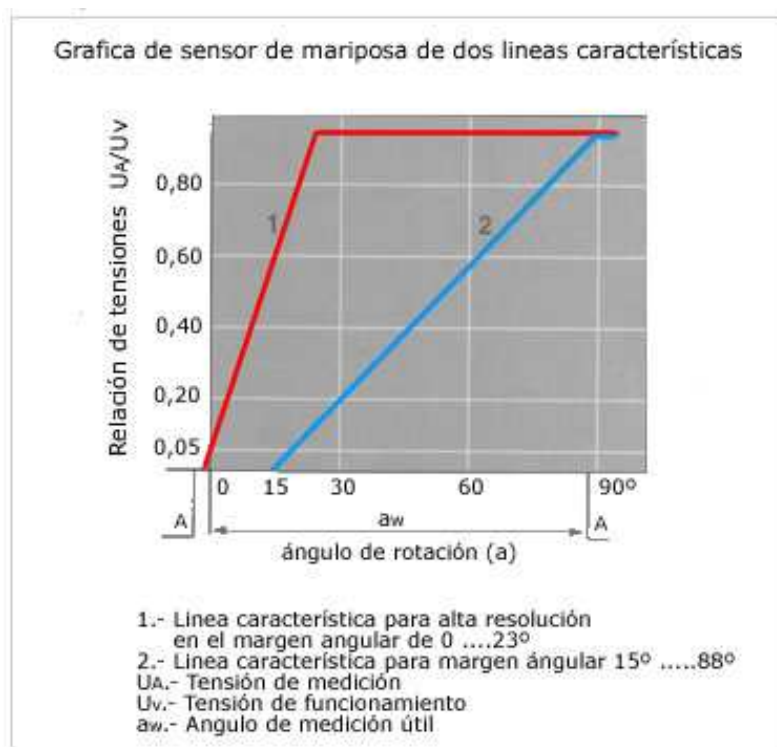


Figura 4.7: Dos funciones de transferencia de un sensor de mariposa.



Como protección contra sobrecargas, está aplicada la tensión a la pista de medición a través de pequeñas resistencias en serie que también se usan para el calibrado del punto cero y de la inclinación de la característica como anteriormente se ha mencionado.

Una variación del ancho de la pista de medición, incluso en secciones repercute en la forma de la curva característica.

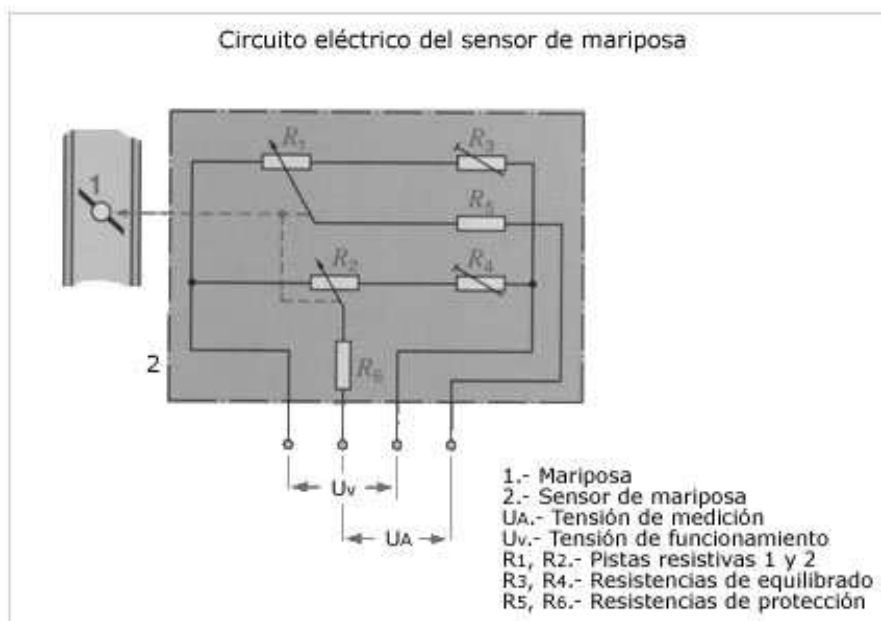


Figura 4.8: Circuito eléctrico típico de un sensor de mariposa.

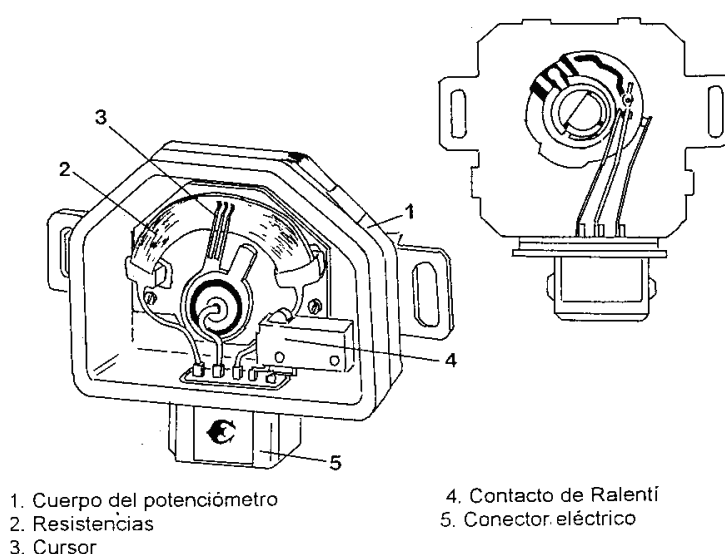


Figura 4.9: Esquema de un sensor de mariposa.

#### 4.3.3. Sensores de anillos de cortocircuito semidiferencial

##### Aplicación

Los sensores de anillos de cortocircuito semidiferencial (sensores inductivos) son sensores de posición para la detección de recorridos o ángulos.

Estos sensores, llamados también transmisores de cortocircuito semidiferencial, son muy precisos y robustos. Se emplean como:

- Sensor del recorrido de regulación para detectar la posición de la varilla de regulación de las bombas de inyección diesel en línea.
- Sensor de ángulo en el mecanismo de control de caudal de las bombas rotativas de inyección diesel.

##### Estructura y funcionamiento

Los sensores consisten en un núcleo de hierro dulce formado por chapas. En sendos brazos del núcleo hay fijadas una bobina de medición y una bobina de referencia.

Cuando fluye corriente alterna a través de las bobinas procedentes de la unidad de control, se generan campos magnéticos alternativos. Los anillos de cortocircuito de cobre que encierran el brazo respectivo del núcleo de hierro dulce protegen estos campos magnéticos.

El anillo de cortocircuito de referencia está fijo, mientras que el anillo de cortocircuito de medición está sujeto a la varilla de regulación o al árbol de la corredera de regulación (recorrido de regulación "s" o ángulo de variación "a").

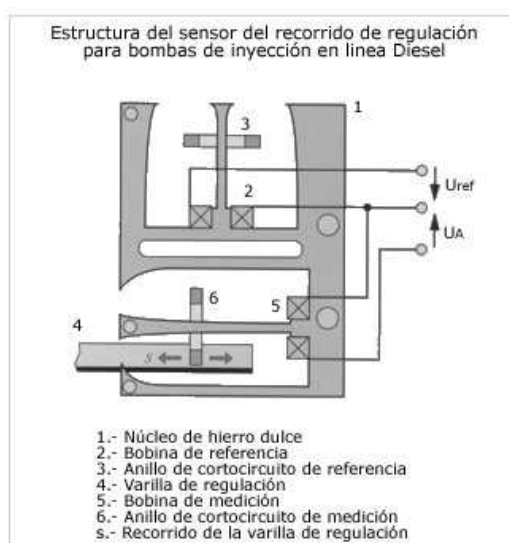


Figura 4.10: Esquema de sensor de anillo en cortocircuito para medir recorrido

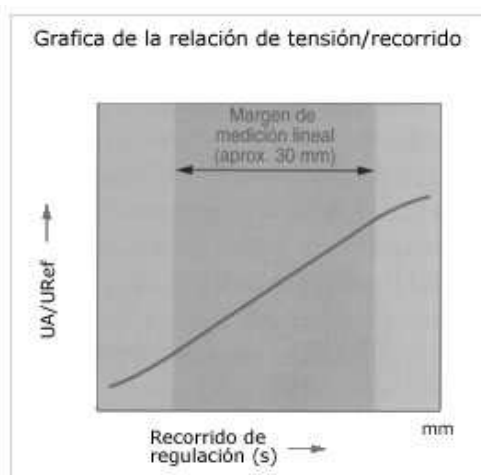


Figura 4.11: Grafica que muestra función de transferencia del sensor.

Con el desplazamiento del anillo de medición se modifica el flujo magnético y con él la tensión en la bobina, ya que la unidad de control mantiene la corriente constante.

Un circuito de evaluación conforma la relación entre tensión de salida  $U_A$  y tensión de referencia  $U_{Ref}$ . Esta relación es proporcional a la desviación del anillo de medición y puede ser evaluada por la unidad de control.

La pendiente de esta curva característica se puede ajustar combando el anillo de referencia, y el punto cero, mediante la posición normal del anillo de medición.

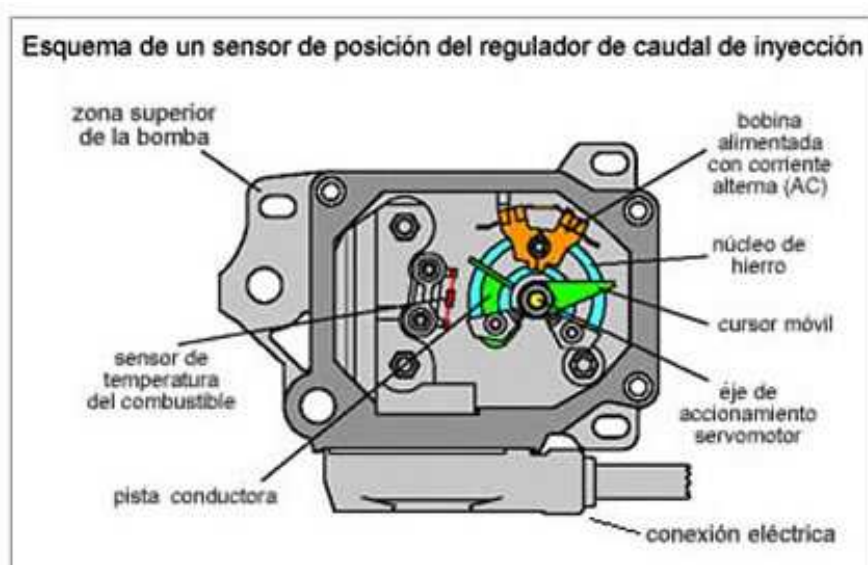


Figura 4.12: Esquema sensor de posición del regulador de caudal de inyección.

En la figura inferior tenemos un ejemplo de la aplicación de este tipo de sensores, el sensor de posición en las bombas electrónicas rotativas de inyección Diesel es un transductor inductivo sin contactos, conocido como HDK o anillo semidiferencial. Esta constituido por una bobina circundada por un núcleo de hierro móvil, que se encuentra unido al eje del servomotor. Al lado del sensor de posición se encuentra el sensor de temperatura de combustible dentro de la bomba de inyección.

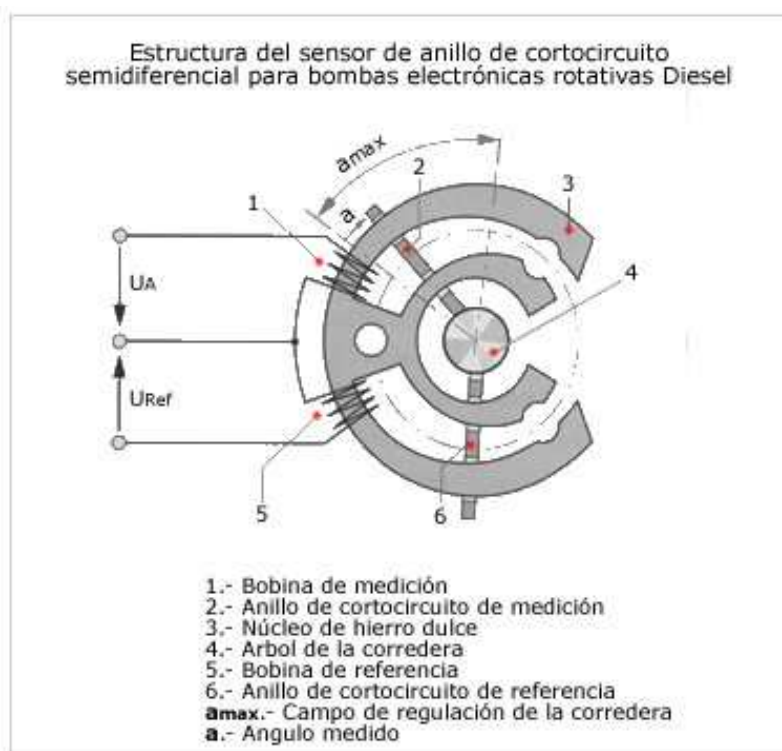


Figura 4.13:Esquema sensor anillo cortocircuito para bombas rotativas diesel.

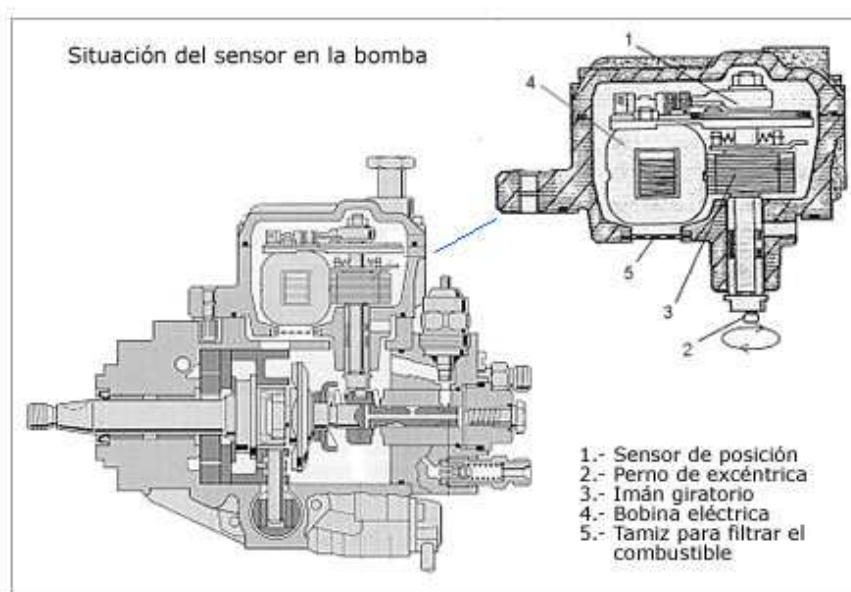


Figura 4.14: Esquema de ubicación del sensor de anillo en cortocircuito.

#### 4.3.4. Sensor de nivel de combustible

##### Aplicación

La tarea de este sensor es detectar el nivel actual de llenado del depósito de combustible y transmitir una señal correspondiente a la unidad de control y/o al instrumento indicador en el cuadro de instrumentos del vehículo. Junto con la electrobomba de combustible, el filtro de combustible, etc., este sensor constituye una parte integrante de las unidades que están montadas en los depósitos de gasolina o gasóleo y aseguran la alimentación fiable del motor.

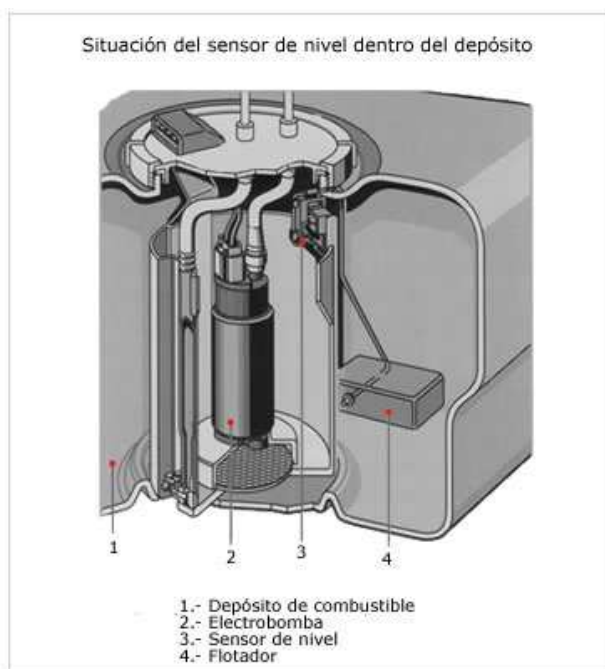


Figura 4.15:Esquema de ubicación del sensor de nivel de combustible.

##### Estructura

El sensor de nivel consta de un potenciómetro encapsulado estanco al combustible y conectado en forma de resistencia variable, un brazo cursor, conductores impresos, una placa porta resistencias y conexiones eléctricas.

La palanca en cuyo extremo se encuentra el flotador (orientable o fijo, en función de la aplicación) de nítró filo resistente al combustible, está fijada en el eje giratorio del potenciómetro y, por tanto, también en el resorte cursor. El diseño de la placa porta resistencias y la forma del flotador y de su palanca están adaptados a la conformación respectiva del depósito de combustible.

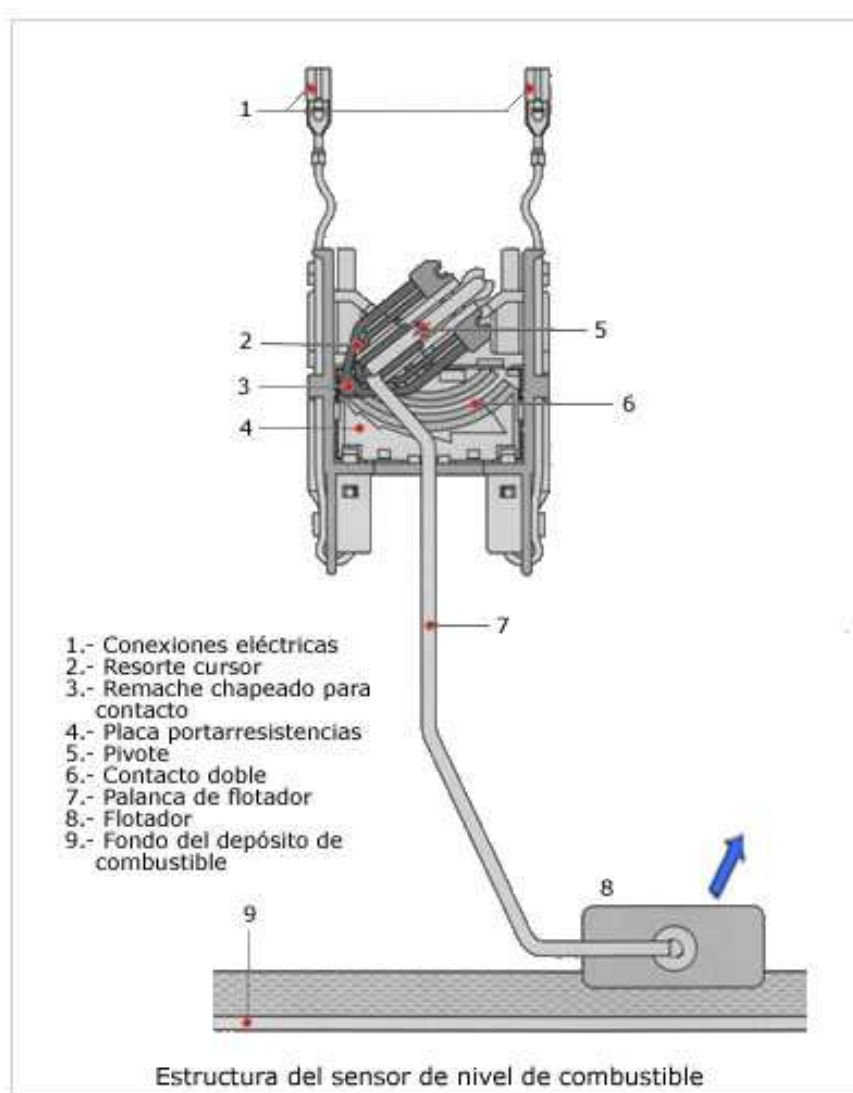


Figura 4.16: Esquema de sensor de nivel de combustible.

### Funcionamiento

Al variar el nivel de combustible, el brazo detector, fijamente unido a través del pivote con la palanca del flotador, se desliza con sus cursores especiales (remaches chapeados para contactos) a lo largo de las pistas resistivas del potenciómetro doble. Entonces transforma el ángulo de giro del flotador en una relación de tensiones proporcional al ángulo.

Unos topes de fin de carrera limitan el margen angular de  $100^\circ$  para los niveles mínimo y máximo.

La tensión de funcionamiento es de 5...13 V.

#### 4.3.5. Sensores de pedal acelerador

##### Aplicación

El deseo de aceleración, de marcha constante o de reducir la velocidad lo manifiesta el conductor en un motor de mando convencional accionando con el pedal acelerador la válvula de mariposa del motor de gasolina o la bomba de inyección del motor Diesel, mecánicamente a través de un cable o un varillaje.

Cuando el motor está equipado con un sistema de mando electrónico, un sensor de pedal acelerador, también llamado transmisor de posición del pedal que realiza la función de la unión mecánica. El detecta el recorrido o la posición angular del pedal y lo transmite eléctricamente a la unidad de control del motor.

Como alternativa al sensor individual, existen también módulos de acelerador como unidades listas para el montaje, compuestas de pedal y sensor en el mismo conjunto. Estos módulos no requieren trabajos de ajuste en el vehículo.

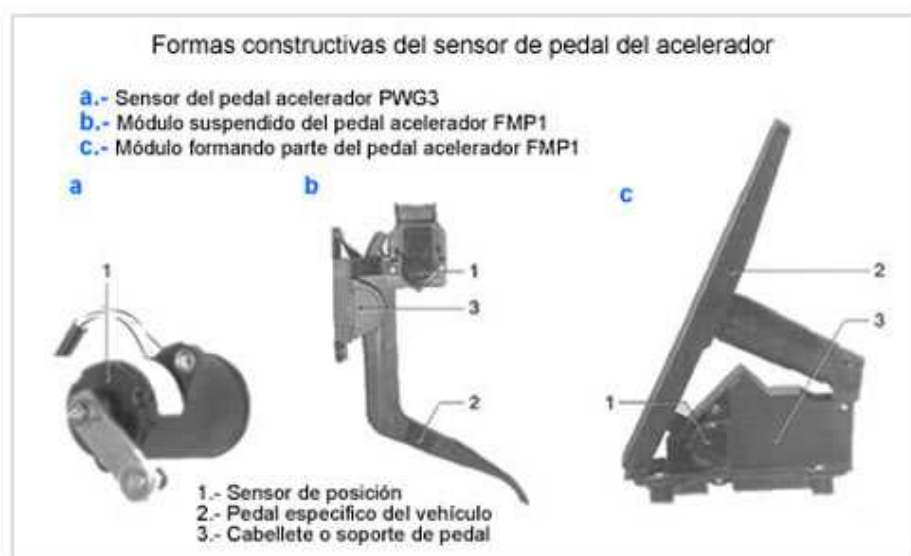


Figura 4.17:Diferentes formas de construcción del sensor de pedal de acelerador.

##### Estructura y funcionamiento

##### Sensor potenciométrico de pedal acelerador

Su componente principal es un potenciómetro en el que se ajusta una tensión en función de la posición del acelerador. Con ayuda de una curva característica de sensor almacenada, la unidad de control convierte esta tensión en el recorrido relativo o posición angular del acelerador. Para fines de diagnóstico y para el caso de un funcionamiento irregular hay integrado un sensor redundante doble. Este es parte integrante del sistema de control.



Una versión del sensor trabaja con un segundo potenciómetro que en todos los puntos de servicio suministra siempre la mitad de la tensión del primer potenciómetro, a fin de recibir dos señales independientes para la identificación de defectos.

Otra versión trabaja, en lugar del segundo potenciómetro, con un interruptor de ralentí que señala a la unidad de control la posición de ralentí del pedal acelerador. Para vehículos con cambio automático, un interruptor adicional puede generar una señal eléctrica de sobre gas.

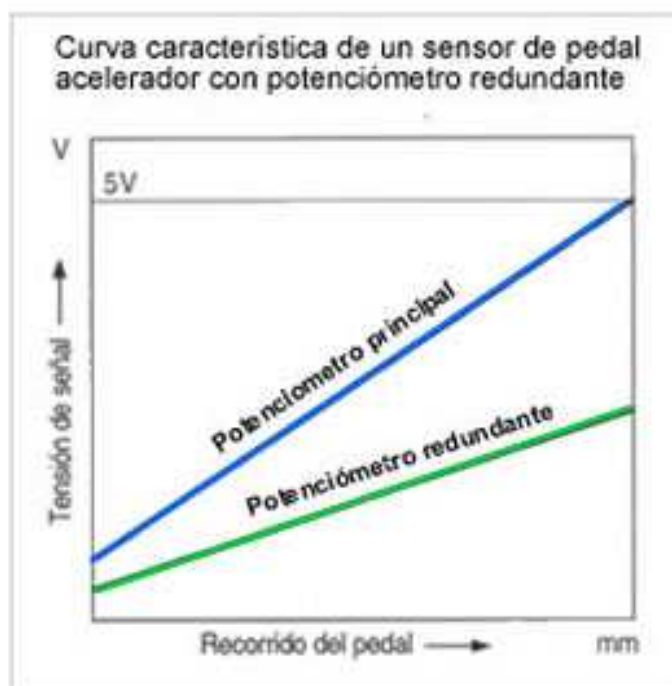


Figura 4.18: Función de transferencia de sensor de pedal acelerador.

### Sensores de ángulo Hall

El sensor de ángulo Hall del tipo ARS1 (Angulo de Rotación del Sensor) está derivado del principio básico de "imán móvil".

Tiene un alcance de medición de aproximadamente.  $90^\circ$ .

El flujo magnético de un rotor, constituido por un disco semicircular de magnetismo remanente, es reconducido al rotor a través de una zapata polar, pieza conductora y el eje.

Según la posición angular, el flujo es conducido en mayor o menor medida a través de los dos conductos de flujo, en cuyo circuito magnético se encuentra también el sensor Hall. Así se consigue una característica considerablemente lineal en el campo de medición.





Figura 4.19:Esquema de despiece de un sensor de ángulo Hall.

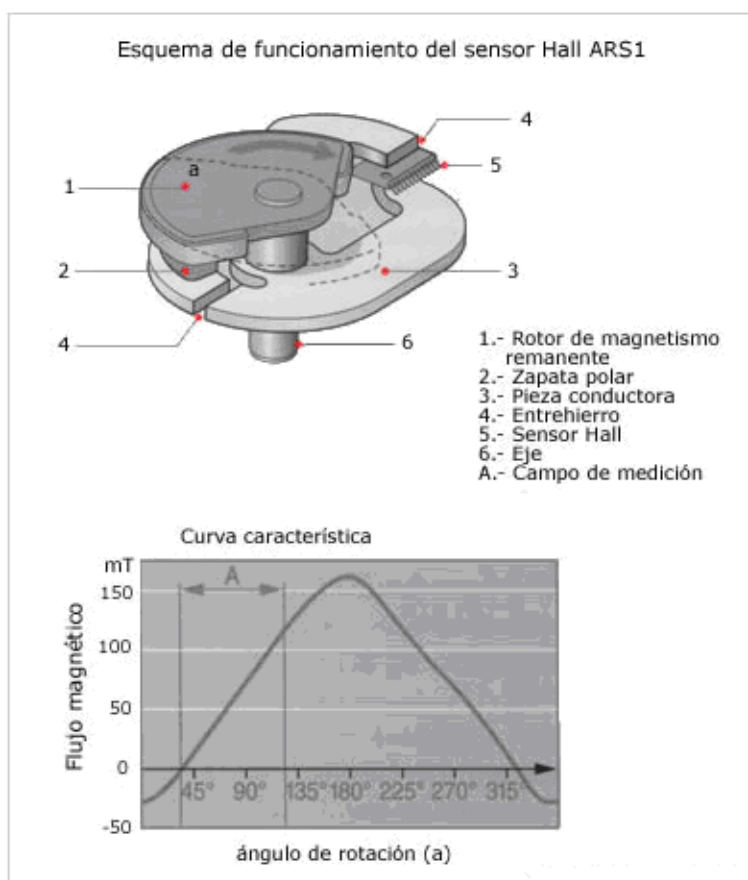


Figura 4.20:Esquema de funcionamiento de un sensor de ángulo Hall.

#### 4.3.6. Sensores de ángulo del volante de dirección

##### Aplicación

El control electrónico de la estabilidad (ESP) tiene por función mantener el vehículo en la trayectoria prescrita por el conductor mediante intervenciones apropiadas en los frenos.

Para ello, una unidad de control compara el ángulo de giro ajustado al volante y la presión de frenado deseada con el movimiento de giro y la velocidad efectivos del vehículo, efectuando en caso necesario un frenado selectivo de las ruedas. De este modo se consigue un "ángulo de deriva", es decir, una desviación de la trayectoria en relación con el eje longitudinal del vehículo pequeño y se impide un derrape hasta los límites fijados por la física.

Para la detección del ángulo del volante son apropiados en principio todos los tipos de sensores angulares. Sin embargo, con objeto de garantizar la seguridad se requieren versiones cuya plausibilidad se pueda comprobar fácilmente o que, mejor aún, posean una función de autocontrol.

Se utilizan potenciómetros, detectores ópticos de código y sistemas magnéticos. En la mayoría de sensores utilizados es necesario sin embargo registrar y memorizar constantemente la posición actual del volante, ya que los sensores angulares usuales pueden medir como máximo  $360^\circ$ , algo suficiente para una motocicleta, mientras que un volante de turismo puede describir en cambio un ángulo de  $\pm 720^\circ$  lo que equivale a cuatro vueltas en total.

##### Estructura y funcionamiento

Existen dos sensores angulares magnéticos de medición absoluta adaptados a unidades de control Bosch, que al contrario de los sensores de medición incremental pueden detectar en todo momento el ángulo de giro del volante en todo el campo angular que alcanza éste.

- Sensor Hall de ángulo de giro del volante LWS1
- Sensor magneto resistivo de ángulo del volante LWS3

##### Sensor Hall de ángulo de giro del volante LWS1

El sensor del tipo LWS1 detecta mediante 14 "barreras Hall" la posición angular y el número de vueltas del volante. El funcionamiento de una barrera Hall es semejante al de una barrera de luz; un elemento Hall mide el campo por un imán vecino, campo que puede ser debilitado o tapado por un disco metálico de codificación. La utilización de nueve circuitos integrados Hall permite obtener una información digital sobre el ángulo del volante. Los otros cinco sensores Hall restantes registran el número de vueltas, que es transmitido por medio de un engranaje en relación 4:1 dentro del campo unívoco de  $360^\circ$ .

La representación en despiece del sensor de ángulo del volante LWS1 muestra arriba los nueve imanes que son tapados, cada uno por separado según la posición del volante, por el disco magnético dulce de codificación dispuesto debajo. Sobre la placa de circuitos impresos que sigue inmediatamente al disco de codificación se encuentran interruptores Hall (C.I.) y un microprocesador en el que se desarrollan pruebas de plausibilidad y se descodifica la información angular, siendo preparada para el bus CAN. En la parte inferior siguen el engranaje reductor y las otras cinco barreras Hall.

El gran número de elementos sensores, así como la equidistancia necesaria en la disposición de los imanes que han de estar alineados con los circuitos integrados Hall, ha conducido a la sustitución progresiva del tipo LWS1 por el LWS3.

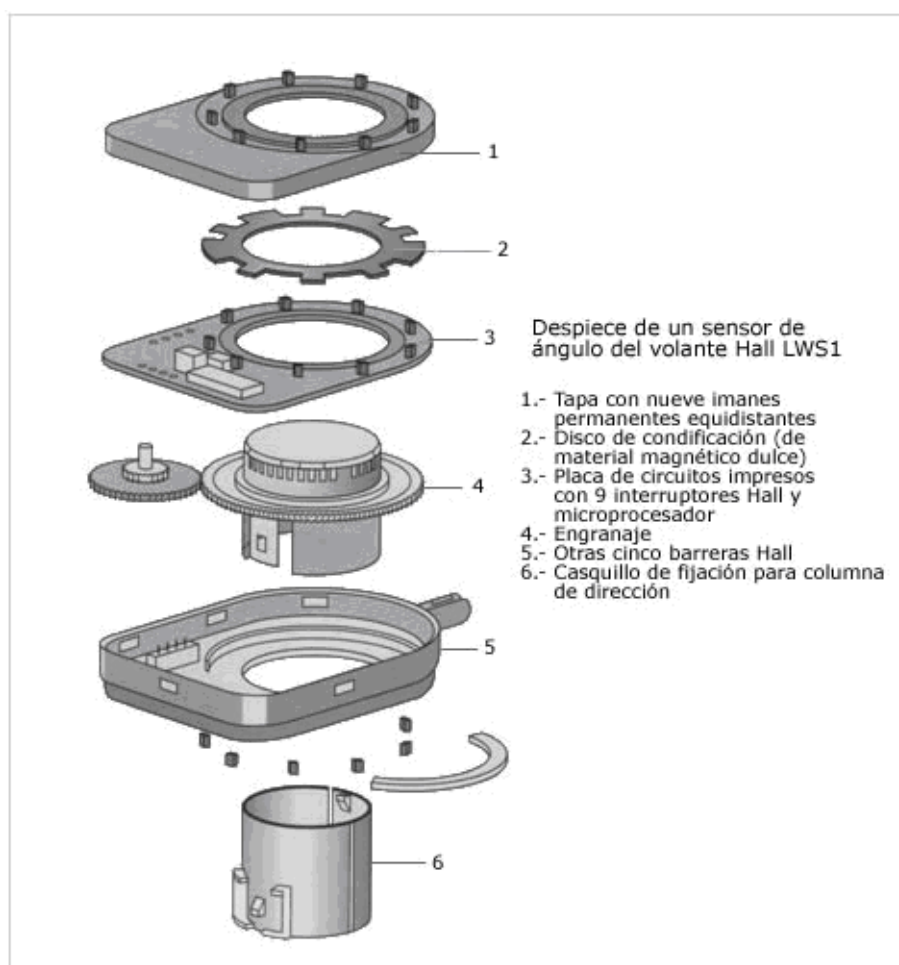


Figura 4.21:Esquema de despiece de un sensor de volante Hall.

#### Sensor magneto resistivo de ángulo del volante LWS3

También el sensor de ángulo del volante LWS3 funciona con sensores AMR (Anisotrop Magneto resistive), cuya resistencia eléctrica varía en función del sentido de un campo magnético externo.

La formación angular sobre un campo de cuatro vueltas completas del volante resulta de la medición de las posiciones angulares de dos ruedas dentadas que acciona una corona dentada fijada en el árbol de la dirección. Las dos ruedas dentadas diferencian por tener una de ellas un diente de mas, lo que permite asignar a cada posición posible del volante un par de valores de ángulo unívocamente definido.

Un algoritmo matemático, calificado como principio de vernier modificado permite a un microprocesador calcular el ángulo del volante, pudiéndose corregir incluso imprecisiones de medición de los dos sensores AMR. Adicionalmente existe la posibilidad de un autocontrol, de manera que a través de la salida CAN se puede transmitir un valor de medición muy plausible a la unidad de control.

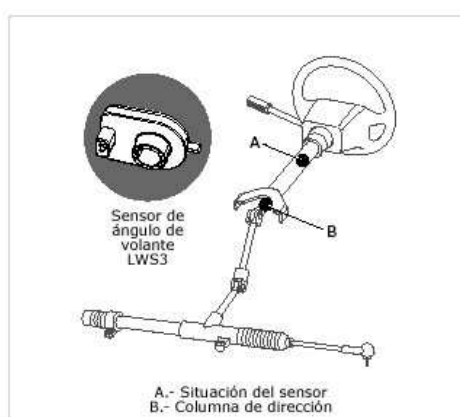


Figura 4.22:Esquema de ubicación del sensor de ángulo de volante Hall.

En la figura inferior se muestra la estructura esquemática del sensor de ángulo del volante LWS3. Se pueden distinguir las dos ruedas dentadas, en las que hay imanes integrados. Encima están dispuestos los sensores y la electrónica de evaluación.

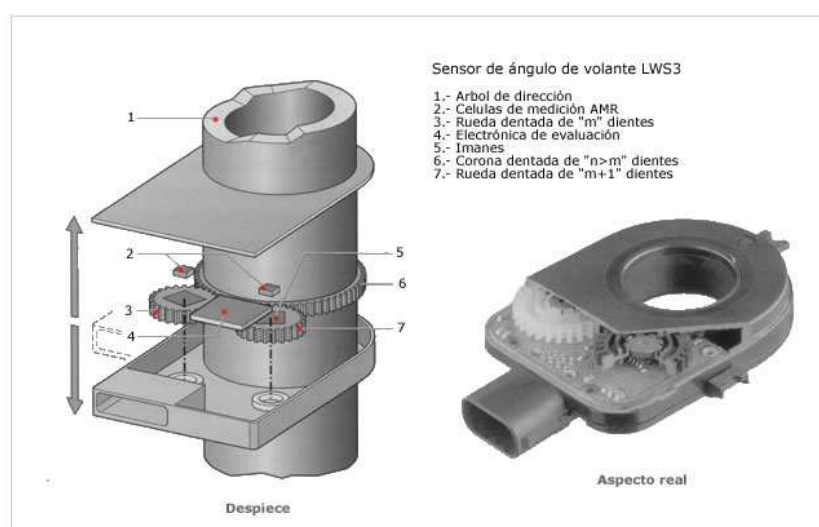


Figura 4.23:Esquema de sensor ángulo de volante Hall.

#### 4.3.7. Sensores de eje

##### Aplicación

Con ayuda de la regulación automática del alcance de las luces se corrige el enfoque de los faros del vehículo. Estando conectada la luz de cruce se regula la inclinación del automóvil, de manera que se pueda disponer de una visibilidad suficiente al volante sin peligro de deslumbrar a los conductores que circulan en sentido contrario.

El sistema de regulación estático corrige la inclinación del vehículo ocasionada por la carga del vehículo. El sistema de regulación dinámico corrige adicionalmente los movimientos de cabeceo del vehículo ocasionados por las aceleraciones y los frenados lo que se denomina dinámica de marcha.

Los sensores de eje detectan muy exactamente el ángulo de inclinación de la carrocería.

##### Estructura y funcionamiento

La medición de la inclinación del vehículo se efectúa por medio de sensores de eje, montados en las partes delantera y trasera de la carrocería. Mediante una palanca giratoria unida a través de una biela con el respectivo eje del vehículo o suspensión de rueda, se mide la compresión de los elementos de suspensión que se produce.

La inclinación del vehículo se calcula luego partiendo de la diferencia de tensión entre los sensores de los ejes delantero y trasero.

El funcionamiento de los sensores de eje se basa en el principio del efecto Hall. En el estator hay integrado un circuito integrado Hall (C.I. Hall), que se encuentra dentro de un campo magnético homogéneo. El campo magnético produce en el C.I. una tensión Hall que es proporcional a este campo. Al girarse los imanes anulares con el árbol se produce una variación del campo magnético que atraviesa el C.I. Hall.

En función de la compresión de los elementos de suspensión por la carga y/o las aceleraciones, la biela transmite el valor correspondiente a la palanca giratoria del sensor de eje, que lo convierte en una señal de tensión eléctrica proporcional al ángulo de giro.

La unidad de control detecta las señales de los sensores de eje, evalúa la diferencia entre el eje delantero y el eje trasero y calcula el valor teórico para la posición de los servomotores, teniendo en cuenta la velocidad de marcha.

En marcha constante, la regulación dinámica del alcance de las luces permanece en el modo de gran amortiguación. Los motores paso a paso son adaptados sólo lentamente a la inclinación del vehículo, para evitar que ondulaciones o baches de la calzada ocasionen correcciones constantes del alcance de los faros.

En las aceleraciones o frenados se conecta inmediatamente el modo dinámico. En pocas milésimas de segundo asegura la adaptación del alcance de las luces. A continuación el sistema conecta de nuevo automáticamente al modo de amortiguación lenta.

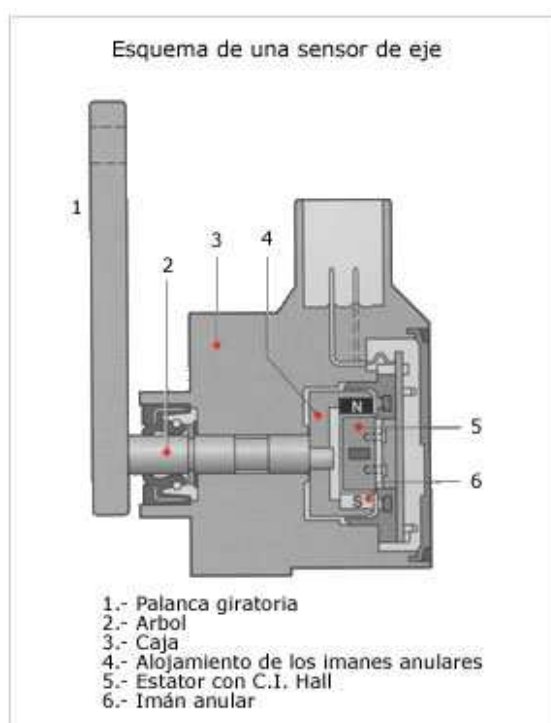


Figura 4.24: Esquema de un sensor de eje.



Figura 4.25: Esquema de ubicación de un sensor de eje.

#### 4.3.8. Sensores ultrasónicos

##### Aplicación

Los sensores ultrasónicos se utilizan para averiguar las distancias a las que se encuentran posibles obstáculos y para vigilar un espacio.

Están integrados en los parachoques de vehículos para facilitar entrada y salida de aparcamientos y las maniobras de estacionamiento. El gran ángulo de abertura que se obtiene con el empleo de varios sensores permite determinar con ayuda de la "triangulación" la distancia y el ángulo en relación con un obstáculo. El alcance de detección de un sistema de tal clase cubre una distancia de aprox. 0,25 a 1,5 m.

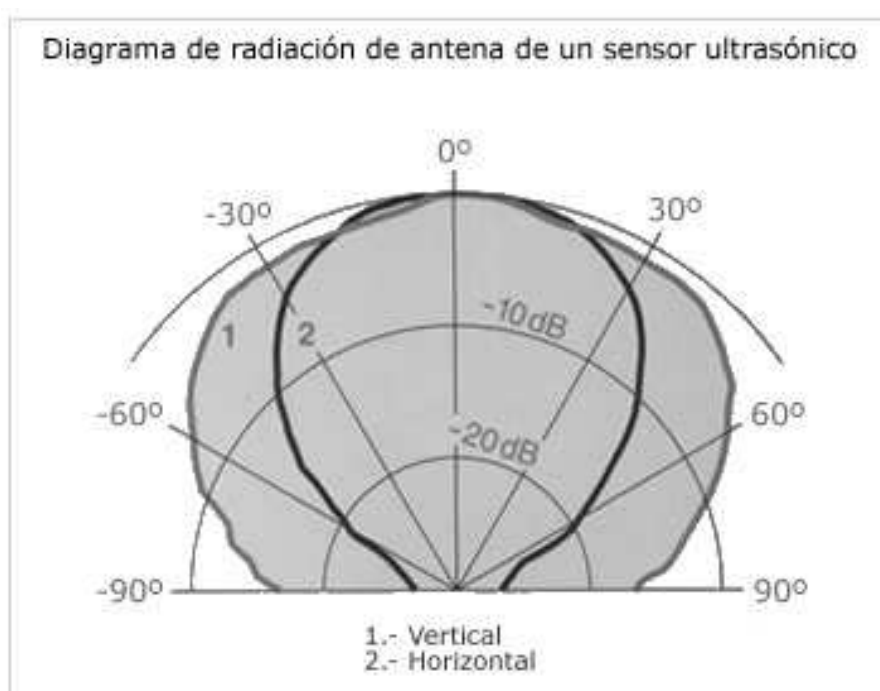


Figura 4.26: Diagrama de radiación de antena de un sensor ultrasónico.

##### Estructura

Un sensor se compone de una caja de plástico con conexión por enchufe integrada, un convertidor de ultrasonidos, que consiste en una membrana de aluminio en cuyo lado interior hay pegada una pastilla piezocerámica y una placa de circuitos impresos con electrónica de emisión y evaluación.

Dos de las tres líneas eléctricas de conexión a la unidad de control sirven para la alimentación de tensión. Por la tercera línea, bidireccional, se conecta la función emisora y se transmite la señal de recepción evaluada de vuelta a la unidad de control.



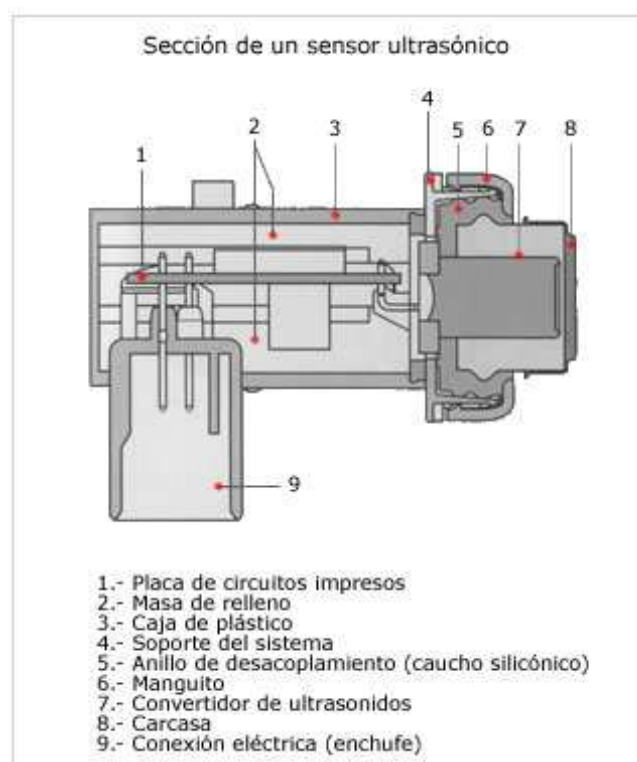


Figura 4.27:Esquema de la sección de un sensor ultrasónico.

### Funcionamiento

El sensor ultrasónico funciona según el principio "impulso-eco" en combinación con la "triangulación". Cuando recibe de la unidad de control un impulso digital de emisión, el circuito electrónico excita la membrana de aluminio mediante impulsos rectangulares dentro de la frecuencia de resonancia para generar vibraciones típicas de aproximadamente 300 microsegundos ( $\mu s$ ), emitiéndose entonces ondas ultrasónicas: la onda sonora reflejada por el obstáculo hace vibrar a su vez la membrana, que entretanto se había estabilizado durante el período de extinción de 900  $\mu s$  no es posible ninguna recepción.

La piezocerámica convierte estas vibraciones en una señal eléctrica analógica, que la electrónica del sensor amplifica y transforma en una señal digital. El sensor tiene prioridad frente a la unidad de control y, al detectar una señal de eco, conmuta la conexión de la señal a bajo potencial ( $<0,5 V$ ).

Si se encuentra una señal de eco en la línea, no se puede procesar la señal de emisión. Cuando la tensión se vuelve inferior al umbral de conmutación de 1,5 V en la línea de señales, la unidad de control incita al sensor a que realice la emisión.

A fin de poder cubrir una zona lo más extensa posible, el ángulo de detección es grande en el plano horizontal. En el plano vertical, por el contrario, es necesario que el ángulo sea pequeño, para evitar reflexiones perturbadoras procedentes del suelo.

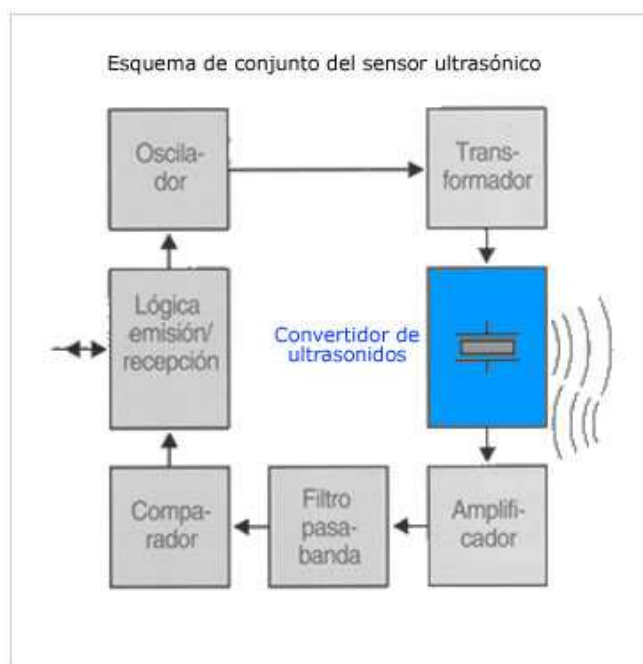


Figura 4.28:Diagrama de bloques de la lógica de control de un sensor ultrasónico.

La distancia "a" que hay hasta el primer obstáculo más cercano se calcula a partir del tiempo de propagación del primer impulso de eco llegado y de la velocidad del sonido.

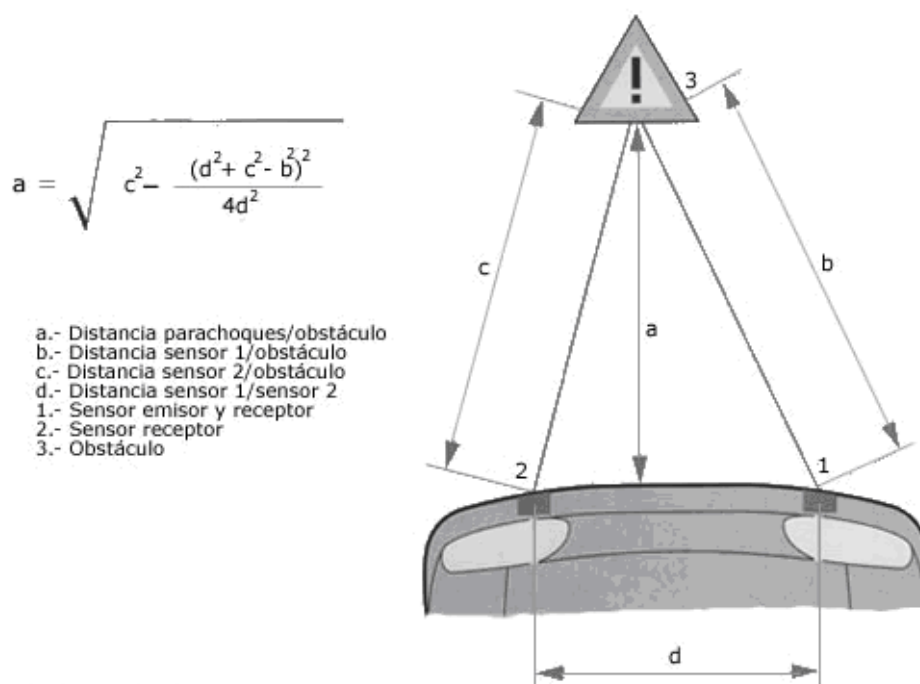


Figura 4.29:Calculo ultrasónico de distancias a un obstáculo.

#### 4.3.9. Sensores electromagnéticos (radar)

El radar lo consideramos como un sensor, pues mide la distancia, la velocidad relativa y la posición lateral de los vehículos que marchan delante.

Para ello el radar (Radiation Detecting and Ranging) emite paquetes de ondas milimétricas. Para su empleo en la circulación por las principales marcas de automóviles se ha autorizado la banda de frecuencias de 76 a 77 Ghz (longitud onda= 4mm).

Los paquetes de ondas emitidos son reflejados por las superficies de metal o material de alta dielectricidad y son detectados de nuevo por el módulo receptor del radar. La duración y/o frecuencia de las señales recibidas es comparada con la de las señales emitidas.

A fin de que la comparación pueda ser utilizada para las interpretaciones deseadas, el paquete de ondas que ha de ser emitido es conformado en función del transcurso frecuencia-tiempo. Los modos más conocidos son la modulación de impulsos, en la que se forman impulsos de una dimensión de 10...30ns, lo que corresponde a una longitud de 3...10 m, y la modulación de frecuencia, que en el momento de la emisión varía la frecuencia momentánea de las ondas en función del tiempo.



Figura 4.30: Esquema de ubicación de un sensor ultrasónico.

La señal recibida ha de ser remodulada para que pueda suministrar la información deseada. Si se trata de una señal de modulación de impulsos, se mide el tiempo transcurrido y entre la emisión y la recepción puede ser determinada a partir de esta diferencia de tiempo y en relación con la velocidad de la luz "c" 300.000 Km. /s.

$$d = t \cdot c/2$$

El divisor 2 tiene en cuenta el recorrido de ida y vuelta de la señal Si se trata de la modulación de frecuencia, la variación de la frecuencia tiene lugar durante la emisión. En caso de variación lineal, la señal de impacto retardada en función del tiempo de recorrido presenta, en comparación con la señal actual emitida, una diferencia de frecuencia que es proporcional a la distancia.

Si bien la velocidad relativa del objeto de medición se puede determinar a partir de mediciones sucesivas de la distancia, este parámetro se puede medir con una fiabilidad y precisión considerablemente mayores utilizando el efecto Doppler.

En caso de un acercamiento aumenta la frecuencia de las ondas recibidas en 510 Hz por m/s de velocidad relativa (a 76 Ghz).

La posición lateral del objeto del radar constituye la tercera dimensión de base buscada. Esta sólo puede ser determinada si el haz del radar es dirigido en diferentes direcciones; partiendo de la intensidad de la señal, se determina la dirección que ofrece la reflexión más fuerte. Para ello es necesario un rápido barrido mediante un haz o una configuración multihaz, con varias antenas.

### **Estructura y funcionamiento**

La frecuencia de trabajo de 76 Ghz con longitud de onda de aproximada de 3,8 mm, esto hace posible una construcción compacta, requerida para el empleo en vehículos.

Un oscilador Gunn, alimenta en paralelo tres antenas patch dispuestas en yuxtaposición, que sirven al mismo tiempo para la recepción de las señales reflejadas. Una lente de plástico colocada delante (lente de Fresnel) concentra el haz de rayos de emisión dentro de una ventana angular de  $\pm 5^\circ$  en el plano horizontal y de  $\pm 1,5^\circ$  en el vertical, referida al eje del vehículo.

Por el desplazamiento lateral de las antenas, la característica de recepción de éstas (ancho de 6-dB :  $4^\circ$ ) señala en diferentes direcciones. Además de la distancia de los vehículos que marchan delante y de su velocidad relativa, se puede averiguar de ese modo también la dirección en la que son detectados.

Unos acopladores direccionales separan las señales emitidas de las señales recibidas. Tres mezcladores conectados transponen la frecuencia de recepción en bajas frecuencias casi hasta el cero (0..300 Khz.), mediante su mezcla con la frecuencia de emisión.

Las señales de baja frecuencia son digitalizadas para su posterior evaluación y sometidas a un rápido análisis de Fourier para determinar la frecuencia.

La frecuencia del oscilador Gunn se compara continuamente con la de un oscilador estable de referencia DRO (Dielectric Resonance Oscillator), siendo regulada a un valor teórico prefijado. A la vez se varía la tensión de alimentación del diodo Gunn, hasta que corresponde de nuevo al valor teórico.

Para la medición, a través de este bucle de regulación se aumenta y reduce brevemente la frecuencia del oscilador Gunn cada 100ms alrededor de 300 Mhz en forma de dientes de sierra (FMCW Frequency Modulated Continuous Wave).

La señal reflejada en un vehículo que marcha delante sufre un retardo relacionado con el tiempo de propagación de la onda que se traduce en una disminución de la frecuencia en el flanco ascendente y un aumento igual de la frecuencia en el flanco descendente.

La diferencia de frecuencia es directamente proporcional a la distancia. Si los dos vehículos señalados no marchan a la misma velocidad, la frecuencia de recepción aumenta entonces por razón del efecto Doppler, tanto en el flanco ascendente como en el descendente.

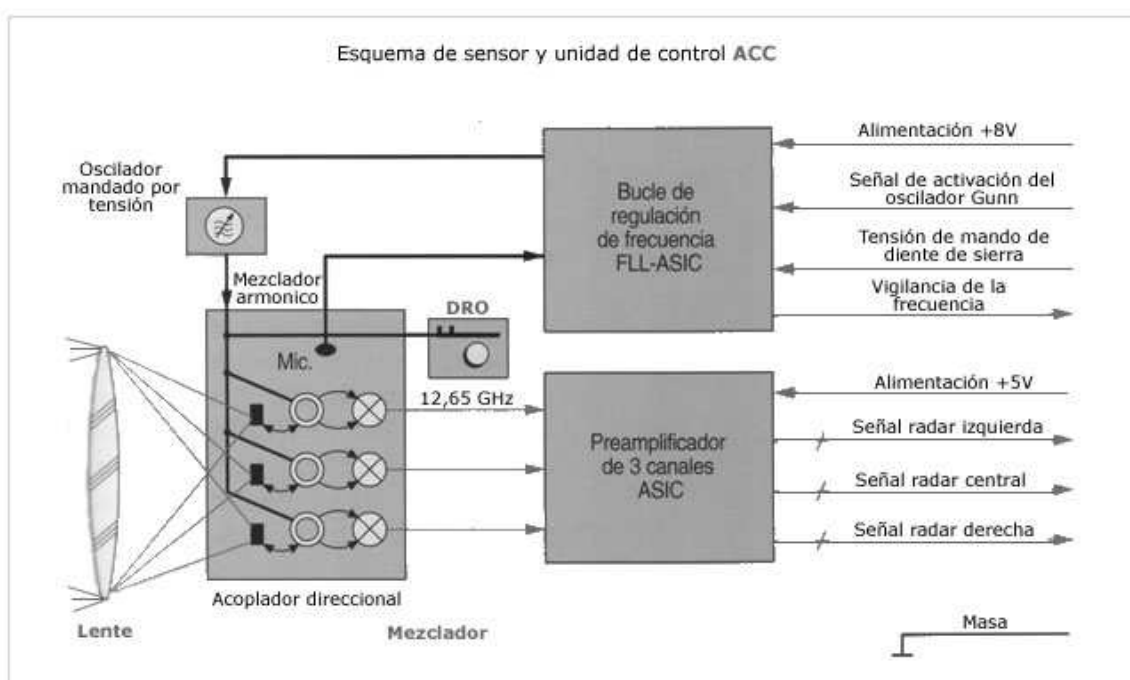


Figura 4.31: Diagrama de bloques de un sensor ultrasónico.

#### 4.3.10. Regulador inteligente de velocidad de marcha ACC

##### Aplicación

Este radar regulador de la distancia es mucho más que un sensor. Pues además de determinar la distancia, la velocidad relativa y la posición lateral de vehículos que marchan delante, realiza un procesamiento subsiguiente muy complejo que termina con instrucciones de regulación para el motor y los frenos.

Las funciones de este aparato exceden a una simple regulación de la distancia y se extienden a una regulación inteligente de la velocidad de marcha ACC.

## Estructura y funcionamiento

Una de las funciones de base es en primer lugar la regulación convencional de la velocidad de marcha, con la que se mantiene constante, una vez ajustada, la velocidad de marcha deseada. Esta función permanece activa mientras no se detecte ningún vehículo precedente cuya velocidad sea inferior a la velocidad deseada ajustada por el conductor. Pero cuando en la zona de detección del radar (aprox. 100 a 150 m) se descubre un vehículo que impide seguir la marcha con la velocidad deseada, ésta adapta entonces a la velocidad del vehículo que precede. Si las diferencias de velocidad son ligeras, ello se puede realizar simplemente reduciendo la admisión de gas; si las diferencias son de mayor importancia, se hace necesaria una intervención en los frenos.

Una vez se ha compensado la velocidad, el vehículo equipado con ACC sigue al vehículo precedente con un intervalo de tiempo ampliamente constante, es decir, con una distancia que aumenta también la velocidad.

La dificultad técnica mayor para el procesamiento de las señales dentro de la ACC-SCU la depara la elección del vehículo objetivo correcto. Se trata en primer lugar de reconocer, entre las muchas reflexiones del radar, aquéllas que proceden de los vehículos precedentes ya detectados.

Luego hay que apreciar si esos vehículos marchan realmente en el mismo carril, lo que particularmente antes de las curvas y durante ellas no es fácil de evaluar, si bien los sensores del sistema de control electrónico de la estabilidad ESP para la regulación de la dinámica de marcha suministran importantes magnitudes comparativas.

### Ejemplos de sensores de anillo de cortocircuito

- Sensores del recorrido de regulación para detectar la posición de la varilla de regulación de las bombas de inyección Diesel en línea
- Sensor de ángulo en el mecanismo de control de caudal de las bombas rotativas de inyección Diesel.

Un ejemplo: actual de utilización son los sensores de aparcamiento de, Estos son unos sensores de ultrasonidos de un diámetro de 19mm... Los sensores de tercera generación utilizan la más avanzada tecnología de sensibilidad asimétrica... El micro sensor tiene una capacidad de detección muy amplia, abarcando un ángulo de 160° horizontalmente y 60° verticalmente. Esta avanzada tecnología aumenta la capacidad de detección en un 100% comparado con otros sistemas convencionales.

El minúsculo tamaño de los sensores, permite la instalación en todos los coches, ya que pueden ser pintados con spray para conservar la imagen original del vehículo.

Este dispositivo consta, de dos o cuatro sensores de ultrasonidos, a elección del cliente, que son instalados en el parachoques trasero. El sistema únicamente se activará cuando este activada la marcha atrás, indicado por un suave sonido.

La frecuencia del tono indicara al conductor de la cercanía de algún objeto, y la distancia hasta el vehículo.



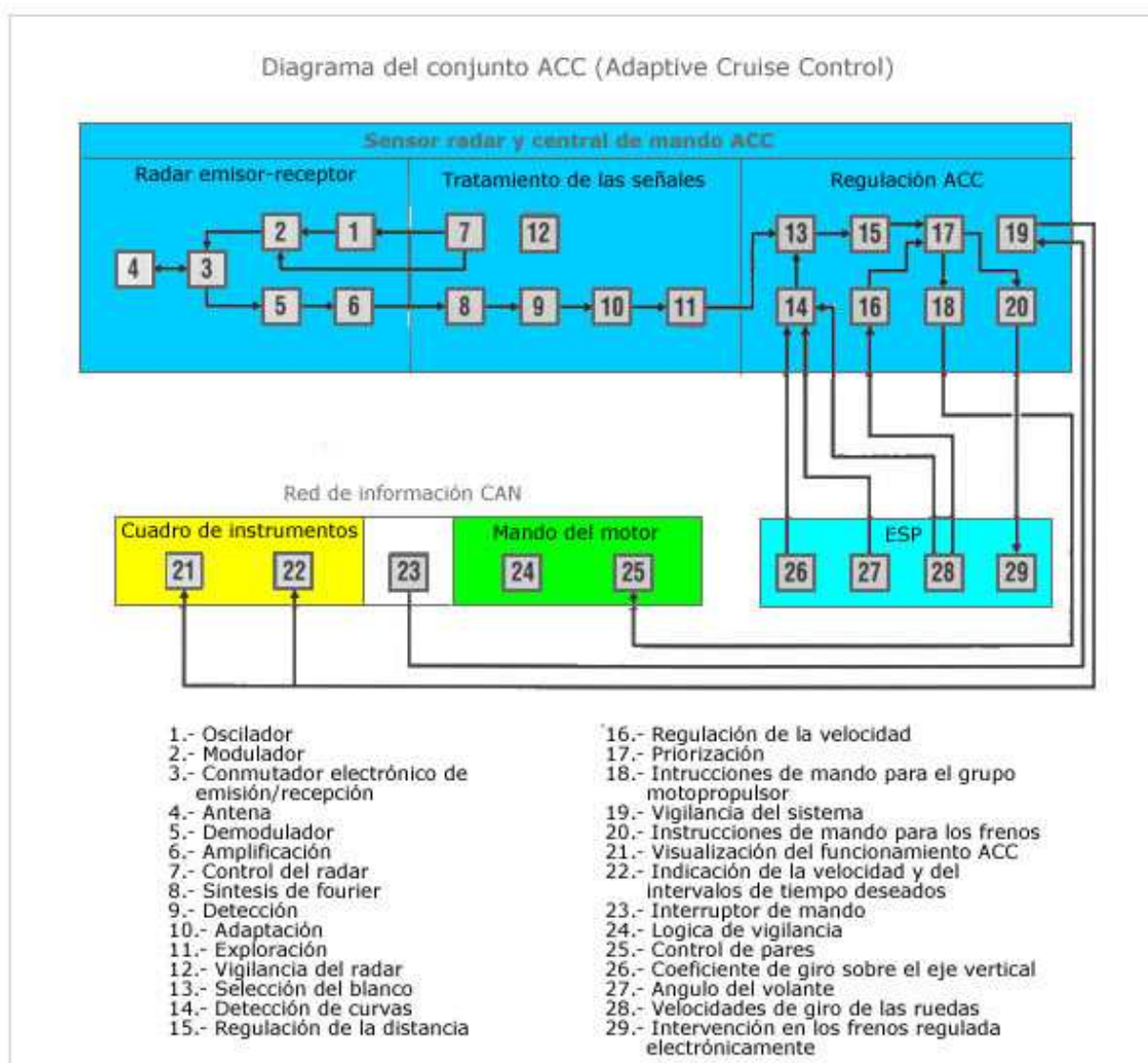


Figura 4.32:Diagrama de bloques del regulador de velocidad de marcha ACC.



## 5. SENSORES DE VELOCIDAD DE (ROTACIÓN/VELOCIDAD LINEAL)

### 5.1. Descripción general

Los sensores de velocidad de rotación y de velocidad lineal miden el ángulo descrito o el espacio recorrido por unidad de tiempo. En ambos casos de aplicación, en el automóvil se trata generalmente de magnitudes de medición relativas que aparecen entre dos piezas o también en relación con la calzada u otro vehículo.

En algunos casos, sin embargo, hay que medir también la velocidad de rotación absoluta en el espacio o alrededor de los ejes del vehículo para determinar el giro sobre sí mismo y el vuelco, parámetro designado a menudo como velocidad de convolución.

Para la detección de la velocidad de rotación relativa se hace una distinción de los sensores, según el número y el tamaño de las marcas periféricas exploradas de un rotor.

- Sensor incremental de paso estrecho

Permite detectar hasta cierto grado, la velocidad instantánea periférica con una subdivisión angular muy fina.

- Sensor segmentado

Distingue un pequeño número de segmentos periféricos.

- Sensor de velocidad de rotación

Con la ayuda de una sola marca detecta únicamente la velocidad de rotación media por vuelta. Son ejemplos de velocidad de rotación relativa:

- Velocidad de rotación del cigüeñal y del árbol de levas,
- Velocidad de giro de las ruedas (para ABS/ASR/ESP)
- Velocidad de rotación de la bomba de inyección diesel.

La medición se efectúa generalmente con la ayuda de un sistema detector incremental, compuesto de una rueda dentada y de un sensor tacometrito.

Son además de nuevas aplicaciones:

- La medición de velocidades de rotación por medio de sensores tacometritos integrados en los cojinetes.
- Velocidad en relación con el suelo.
- Velocidad de giro del vehículo alrededor de su eje longitudinal y del eje de cabeceo.

## 5.2. Principios de medición

Los sensores tacometritos convencionales se basan en efectos de medición grandes, por ejemplo la inducción. Por eso son en la mayoría de los casos eléctricamente pasivos, es decir, no poseen generalmente ninguna electrónica integrada.

Los sensores más recientes se basan en efectos de medición muy pequeños, por ejemplo los basados en el efecto Hall y requieren por tanto una electrónica integrada. Estos sensores se denominan inteligentes, llamados a menudo también sensores activos.

Los detectores de velocidades de rotación absolutas requieren incluso una electrónica muy compleja directamente en el sensor, pues los efectos de medición aquí utilizados no sólo son muy pequeños, sino que necesitan también una compleja regeneración de las señales. Dentro de los sensores de velocidad podemos encontrar:

- Sensores inductivos
- Sensores magneto estáticos (efecto Hall).
- Sensores de convolución.

### 5.2.1. Sensores inductivos

Los sensores inductivos de bobina estaban ya disponibles para la medición de velocidades de rotación cuando no existía aún ninguna versión en absoluto o todavía no había adecuada tecnología magneto estática (efecto Hall).

Los sensores inductivos de velocidad de rotación constan en principio de tres componentes magnéticos esenciales:

- Bobina fija
- Pieza de hierro dulce
- Imán permanente

Los sensores inductivos actuales están constituidos preferentemente por un imán de barra con espiga polar de hierro dulce que soporta la bobina de inducción. Cuando gira una corona dentada ferromagnética u otro rotor de estructura similar por delante de este detector, se induce en la bobina una tensión proporcional, casi sinusoidal a la variación del flujo magnético.

Los sensores inductivos son siempre, sensores dinámicos. En principio no son apropiados para detectar velocidades extremadamente lentas, pues su señal de salida tiende entonces a ser cero. Para que la unidad de control pueda efectuar una evaluación segura y fiable, la tensión generada por el sensor debería ser de 30mV como mínimo.

La desventaja de los sensores inductivos, reside en el hecho de que su tensión de salida puede tener a grandes velocidades valores muy altos, superiores en mucho a 100 V, que son difíciles de procesar por vía electrónica.

Si las altas puntas de tensión son recortadas con la ayuda de diodos Zener, se producen considerables errores angulares a causa de la variación consecutiva de la impedancia de carga del sensor. Eso puede ser muy desfavorable por lo menos en el caso de los sensores angulares de cigüeñal y de árbol de levas, que participan en la regulación del avance del encendido. Para estas aplicaciones se requiere una tolerancia angular de un  $0,2^\circ$ .

Las coronas dentadas montadas en los cigüeñales y las ruedas (ABS) están previstas para cubrir entrehierros de hasta 0,8 o 1,5mm.

La marca de referencia necesaria para el encendido se obtiene suprimiendo un diente o llenando un hueco entre dientes. Se identifica por la mayor distancia de los pasajes por cero y genera una tensión de señal mucho más alta.

#### Ventajas de los sensores inductivos

- Bajos costes de fabricación.
- Alta estabilidad a perturbaciones: baja resistencia interna estática, ninguna electrónica local que haya de ser protegida.
- Ningún problema en caso de derivas de la tensión continúa.
- Amplio margen de temperaturas.

#### Desventajas de los sensores inductivos

- Límites de reducción del tamaño constructivo, caso de bobina.
- Señal dependiente de la velocidad de rotación, (no movimientos casi estáticos).
- Sensibilidad a variaciones del entrehierro.

#### Ejemplos de aplicación de sensores inductivos

- Sensor inductivo de la velocidad de rotación del motor (sensor de revoluciones del cigüeñal).
- Sensor de movimiento de aguja (inyección diesel).
- Sensor inductivo de la velocidad de rotación del árbol de levas (encendido transistorizado de detector inductivo TZ-I).
- Sensor inductivo de la velocidad de giro de rueda.

#### **5.2.2. Sensores magneto estáticos**

La detección casi estática de la velocidad de rotación se puede realizar con eficacia mediante sensores magneto estáticos. Su señal de salida independiente de la velocidad de rotación y únicamente dependiente del campo magnético facilita y simplifica, incluso en el caso de velocidades elevadas, el tratamiento electrónico de tensiones de señales de valores limitados.

Ofrecen además una posibilidad de miniaturización del sensor y la ventaja de tener integrados la amplificación y el tratamiento de las señales en ellos mismos.

Una desventaja importante de tales sensores activos radica sin embargo en el hecho de que el margen de su temperatura de funcionamiento lo determina muy ampliamente la correspondiente electrónica de evaluación a base de componentes de silicio que, en general, no pueden resistir temperaturas tan altas como los elementos sensores mismos.

Desde hace algún tiempo se suministran sensores activos equipados con una salida de corriente, de modo que la económica conexión bifilar de los sensores inductivos de bobina no podrá ser considerada en el futuro ya como una ventaja específica.

### Sensores de gradiente

Otro sensor magneto estático son los sensores de gradiente, que pueden realizarse a elección sobre la base de sensores Hall o de sensores magneto resistivos diferenciales, son mucho más a propósito que los sensores Hall sencillos para la exploración de rotores magnéticamente pasivos.

Poseen un imán permanente cuya superficie polar orientada hacia la rueda dentada es homogeneizada por una delgada plaquita ferromagnética. Sobre ésta hay colocados dos elementos galvano magnéticos (término genérico para designar sensores Hall y magnetorresistencias) espaciados a una distancia que corresponde a la mitad de la distancia entre dientes. De ese modo un elemento se encuentra exactamente frente a un hueco entre dientes cuando el otro está frente a un diente.

El sensor mide la diferencia de campo magnético entre dos puntos muy próximos en el sentido periférico. La señal de salida corresponde aproximadamente a la derivación del campo magnético en función del ángulo periférico y, desde el punto de vista de la polaridad, es independiente por tanto del entrehierro. Las variaciones del entrehierro no producen impulsos parásitos, pues no cambian el signo de la señal de gradiente.

Para la evaluación de las señales las dos magnetorresistencias pueden estar sencillamente conectadas formando un divisor de tensión que es alimentado con una tensión constante y cuya señal de salida es detectada por la unidad de control generalmente sin carga.

A temperatura ambiente y para entrehierros estándar esta señal se aproxima al voltio, pero también a temperaturas más altas es aún suficientemente grande para que se pueda transmitir a la unidad de control sin ser preamplificada.

### Ejemplos de aplicación de sensores magneto estáticos

- Sensor velocidad en el árbol de levas (efecto Hall).
- Sensores en cajas de cambios RS50 y RS51 (efecto Hall).
- Sensor encendido transistorizado TZ-H (efecto Hall)
- Sensor activo Hall de velocidad de rotación.
- Sensor activo AMR de velocidad de rotación.
- Sensor magneto resistivo (para bomba rotativa de inyección diesel de émbolos radiales).

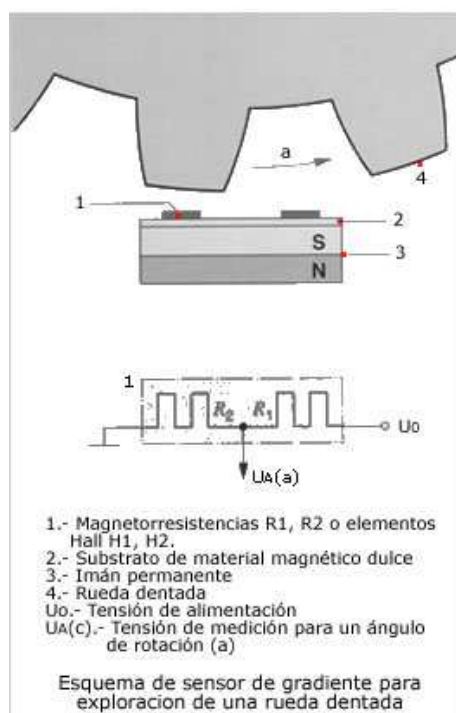


Figura 5.1: Esquema de sensor de gradiente para exploración en rueda dentada.

### 5.2.3. Sensores de convolución

Para medir la velocidades de convolución (derrapes o vuelcos del vehículo) se utiliza el giroscopio. Los giroscopios mecánicos aprovechan las fuerzas de inercia para medir con mucha precisión movimientos angulares en el espacio, independientemente de sistemas de referencia.

A pesar de su gran aptitud para la medición, ni los girómetros de giroscopio ni los sensores ópticos basados en el efecto de Sagnac (girómetros de láser o de fibra óptica) entran en consideración para sistemas del automóvil, a causa de aspectos económicos muy rigurosos.

Por el contrario, las exigencias de precisión no tan severas de nuevos sistemas del automóvil se pueden satisfacer mediante girómetros realizados en mecánica de precisión o micromecánica, que en vez de un movimiento de rotación aprovechan únicamente un movimiento vibratorio elástico equivalente para la generación de un efecto de medición.

Estos sensores llamados girómetros de vibración o sensores de convolución por diapasón eran utilizados hasta ahora predominantemente para regulaciones de estabilización. Responden también en grado suficiente a todas las otras exigencias específicas del automóvil, tales como exención de mantenimiento, vida útil, constante de la duración de funcionamiento, etc., incluso respecto a los costes de fabricación.

Los girómetros de vibración miden el ángulo de aro absoluto sobre el eje vertical del vehículo. En sistemas para la regulación de la dinámica de marcha (ESP, estabilización de fenómenos de derrape) y para la navegación de corta duración (en la zona de un cruce de carreteras).

Sistemas avanzados para la activación de sistemas de protección contra el vuelco necesitan las velocidades de convolución alrededor de los ejes y de cabeceo del vehículo.

El principio de estos sensores se asemeja al de los giroscopios mecánicos. Aprovechan para la medición las aceleraciones de Coriolis que se presentan cuando se producen movimientos de rotación acompañados de un movimiento vibratorio.

### Ejemplos de aplicación

- Sensores piezoeléctricos de convolución de diapasón.
- Sensores piezoeléctricos de convolución.

## **5.3. Tipos de sensores de velocidad**

### **Sensores inductivos**

#### **5.3.1. Sensores de revoluciones del motor (inductivos)**

### **Aplicación**

Los sensores de revoluciones del motor o sensores de barra, también llamados transmisores de revoluciones o rpm, se emplean para:

- Medir el número de revoluciones del motor
- Detectar la posición del cigüeñal o de los pistones del motor.

El número de revoluciones se calcula mediante el intervalo de tiempo entre las señales del sensor. La señal de este sensor es una de las magnitudes más importantes del control electrónico del motor.

### **Estructura y funcionamiento**

El sensor está montado directamente frente a una rueda de impulsos ferromagnética y separado por un entrehierro. Contiene un núcleo de hierro dulce (espiga polar) rodeado por un devanado. La espiga polar comunica con un imán permanente y aparece un campo magnético que se extiende sobre la espiga polar y penetra en la rueda de impulsos.

El flujo magnético a través de la bobina depende de si delante del sensor se encuentra un hueco o un diente de la rueda de impulsos. Un diente concentra el flujo de dispersión del imán. Y se intensifica el flujo útil a través de la bobina.

Por contra, un hueco debilita el flujo magnético. Estos cambios en el flujo magnético inducen en la bobina una tensión sinusoidal de salida que es proporcional a la velocidad de las variaciones y, por tanto, al número de revoluciones.

La amplitud de la tensión alterna crece intensamente a medida que aumenta el número de revoluciones (pocos mV... >100 V). Existe una amplitud suficiente a partir de un número mínimo de 30 revoluciones por minuto.

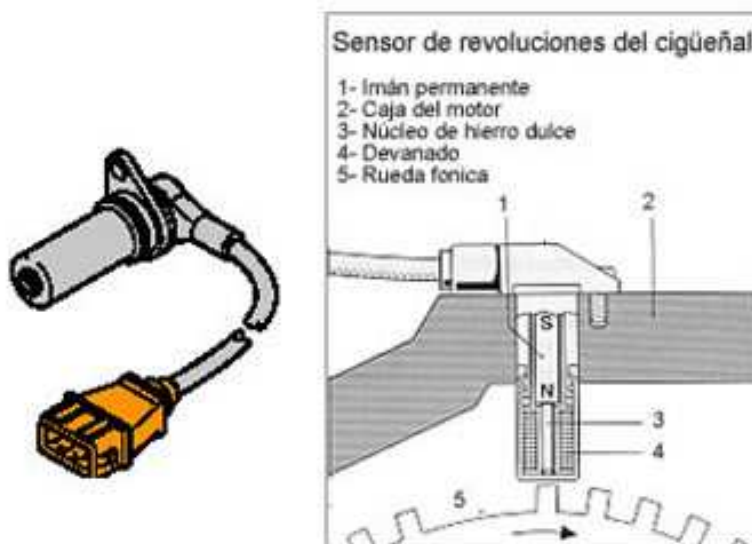


Figura 5.2: Esquema de sensor de revoluciones del cigüeñal.

El número de dientes de la rueda de impulsos depende de la aplicación. Los motores con sistemas de gestión por electroválvulas tienen ruedas de impulsos con división 60, existiendo en ellas un hueco correspondiente a dos dientes. Esto quiere decir que la rueda tiene  $60 - 2 = 58$  dientes.

El hueco por dientes faltantes especialmente grande es una marca de referencia y está asignado a una posición definida del cigüeñal, situación que sirve para la sincronización de la unidad de control.

Otra ejecución de la rueda de impulsos lleva un diente por cilindro en el perímetro. Si el motor es de cuatro cilindros por ejemplo, hay cuatro dientes; por tanto, por cada vuelta se producen cuatro impulsos. Los dientes y la espiga polar han de estar ajustados entre sí en su geometría.

El circuito de evaluación en la unidad de control convierte la tensión sinusoidal de amplitud muy diferenciada en una tensión rectangular de amplitud constante. Esta señal se evalúa en el microcontrolador de la unidad de control.



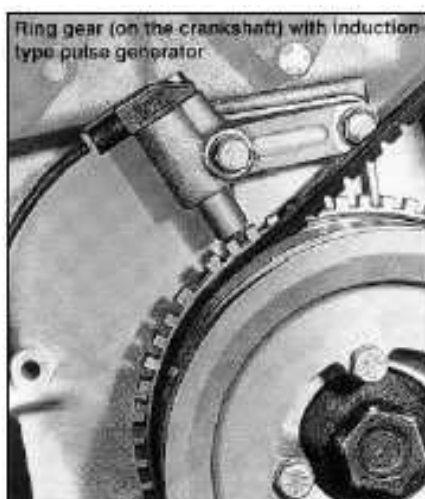


Figura 5.3: Esquema de ubicación de sensor de revoluciones.

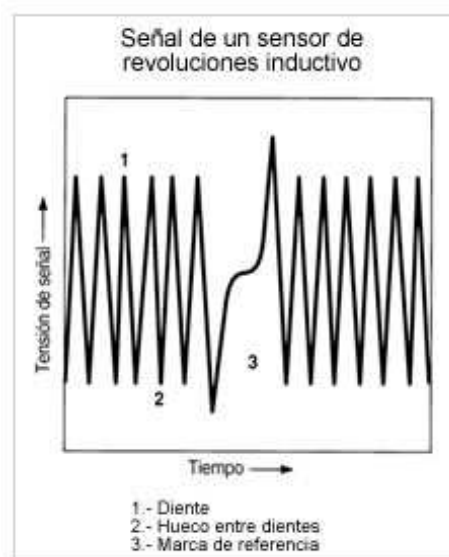


Figura 5.4: Grafica que muestra señal de sensor de revoluciones inductivo.

### 5.3.2. Sensor de movimiento de aguja en porta inyector (inductivo)

#### Aplicación

El comienzo de inyección es una magnitud característica importante para el funcionamiento óptimo de los motores Diesel.

Su detección hace posible por ejemplo, una variación del avance de inyección en función de la carga y del número de revoluciones en el circuito de regulación cerrado. Sirve para ello en las bombas rotativas o en línea una porta inyector con sensor de movimiento de aguja que suministra una señal cuando se levanta la aguja del inyector.

## Estructura y funcionamiento

El perno de presión prolongado, de magnetismo permanente, penetra en la bobina. La profundidad de penetración determina el flujo magnético en la bobina.

Un movimiento de la aguja del inyector induce, con la variación del flujo magnético en la bobina, una señal de tensión dependiente de la velocidad que es procesada directamente en un circuito de evaluación en la unidad de control.

La superación de una tensión umbral le sirve al circuito de evaluación como señal para el comienzo de inyección.

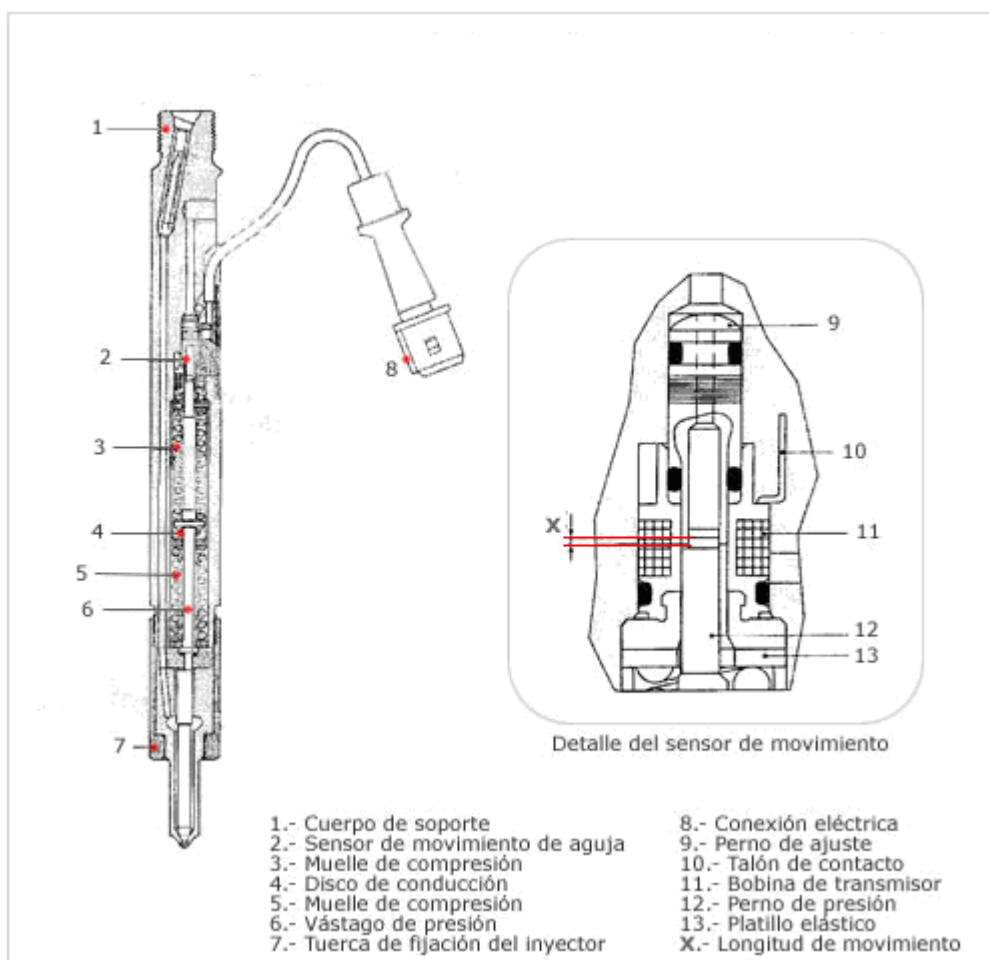


Figura 5.5: Porta inyector con sensor de movimiento de aguja para motores.

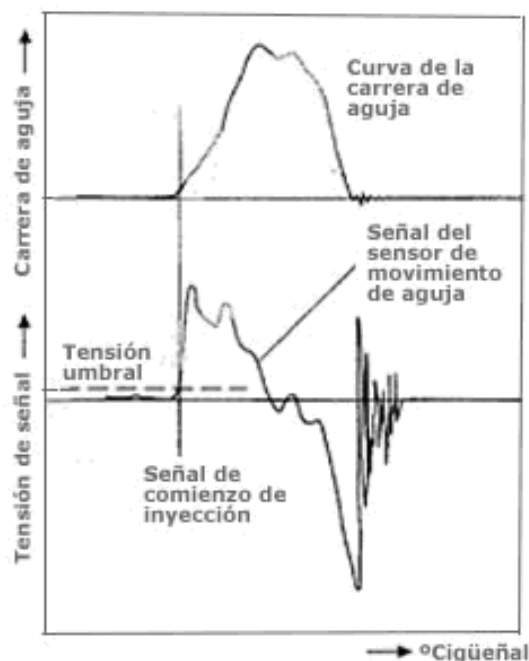


Figura 5.6: Respuesta en tensión de un sensor de movimiento de aguja.

### 5.3.3. Sensor para encendido transistorizado (inductivo)

#### Aplicación

Este sensor inductivo es un disparador de impulsos para el encendido transistorizado TZ-I, acción que realiza un generador eléctrico de corriente alterna.

El punto de conexión del ángulo de cierre se determina por comparación de la señal de tensión alterna del sensor con una señal de tensión correspondiente al tiempo de regulación de la corriente.

#### Estructura

El sensor inductivo está alojado en la caja del distribuidor de encendido, en el lugar que ocupaba el anterior ruptor convencional.

El núcleo magnético dulce del arrollamiento de inducción tiene la forma de un disco, llamado disco polar. El imán permanente, el arrollamiento de inducción y el núcleo del sensor inductivo forman una unidad compacta. El estator está ubicado frente a esta unidad.

La rueda generadora de impulsos, llamada rotor y fijamente unida al árbol del distribuidor gira. El rotor, comparable a la leva de encendido del ruptor, está fijado sobre el árbol hueco que rodea el árbol del distribuidor.

El núcleo y el rotor son de acero magnético dulce y tienen prolongaciones en forma de dientes. El disco polar o núcleo tiene en el lado exterior dientes estatóricos doblados en ángulo recto hacia arriba. Conforme a ello, el rotor tiene dientes doblados hacia abajo.

El número de dientes del rotor y del disco polar corresponde generalmente al número de cilindros del motor. Cuando están frente a frente, los dientes fijos y los dientes móviles están distanciados unos de otros aproximadamente 0,5mm.

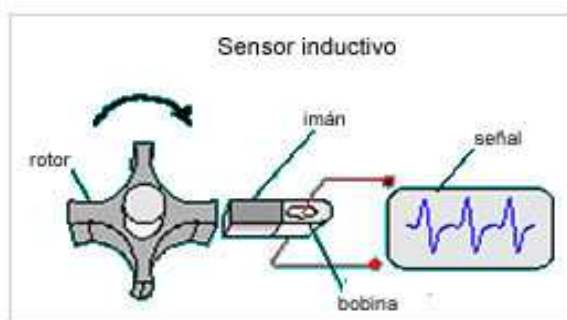


Figura 5.7:Esquema sensor del tipo inductivo.

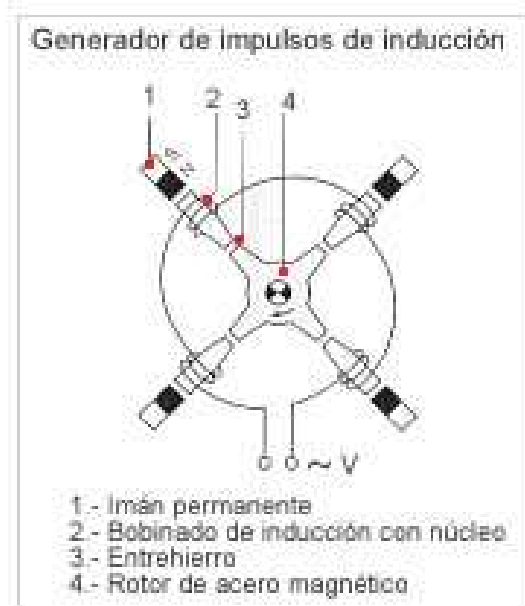


Figura 5.8:Generador de impulsos para ser detectado por sensor inductivo.

### Funcionamiento

El principio de funcionamiento se basa en el hecho de que el entrehierro, entre los dientes del rotor y del estator varía periódicamente al girar el rotor y con él. Lo hace el flujo magnético. La variación del flujo induce una tensión alterna en el arrollamiento de inducción.

La tensión de cresta  $\pm U_s$  es entonces proporcional a la velocidad de rotación: aprox. 0,5 V a baja velocidad y de 100 V a alta velocidad. La frecuencia de esta tensión alterna corresponde al número de chispas de encendido por minuto,

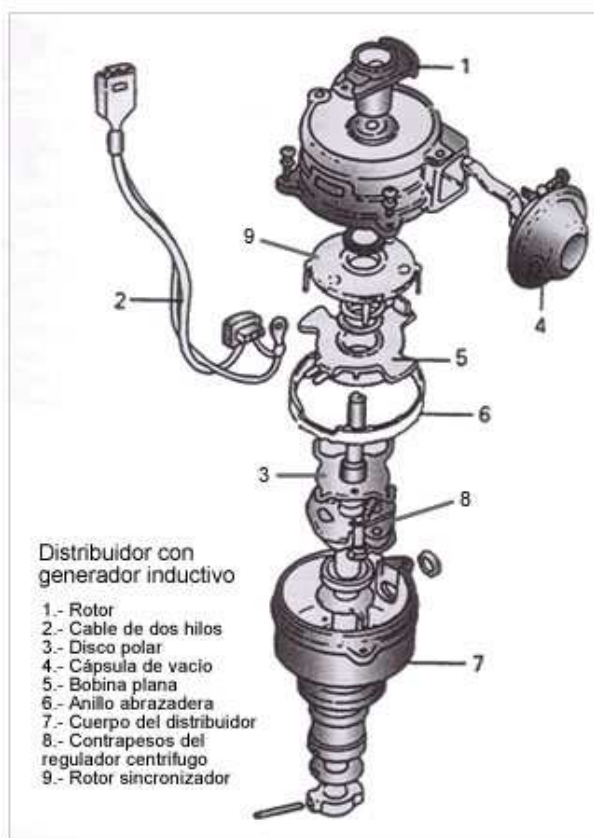


Figura 5.9:Esquema de un distribuidor con generador de impulsos inductivo.

#### 5.3.4. Sensores de velocidad de giro de las ruedas (inductivo)

##### Aplicaciones

De las señales de los sensores de velocidad de giro de las ruedas las unidades de control de los sistemas ABS, ASR y ESP derivan la velocidad de rotación de las ruedas, para impedir el bloqueo o el patinaje de las ruedas y asegurar así la estabilidad y dirección del vehículo. A partir de estas señales, los sistemas de navegación calculan la distancia recorrida.

##### Estructura y funcionamiento

Sensor de velocidad de rotación pasivo de tipo inductivo donde la espiga polar del sensor de velocidad de rotación, que está rodeada de un arrollamiento, se encuentra directamente sobre la corona generadora de impulsos, fijamente unida con el cubo de rueda.

La espiga polar de magnetismo dulce está unida con un imán permanente, cuyo campo magnético llega hasta la corona generadora de impulsos, penetrando en ella.

A causa de la alternancia permanente entre los dientes y los entre dientes, el giro de la rueda ocasiona la variación del flujo magnético dentro de la espiga polar y, por consiguiente, también dentro del arrollamiento que la rodea.

La variación del campo magnético induce en el arrollamiento una tensión alterna, que se toma en cada extremo del bobinado.

Tanto la frecuencia como la amplitud de la tensión alterna son proporcionales a la velocidad de giro de la rueda. Cuando la rueda está parada, la tensión inducida es igual a cero.

La velocidad mínima mensurable depende de la forma de los dientes, del entrehierro, de la pendiente de la subida de tensión y de la sensibilidad de entrada de la unidad de control; partiendo de este parámetro se puede conocer la velocidad mínima de conexión alcanzable para la aplicación del ABS.

El sensor de velocidad de giro y la rueda de impulsión están separados por un entrehierro de aproximadamente 1mm con estrechas tolerancias, para garantizar una detección eficaz de las señales. Además, una fijación firme del sensor de velocidad de giro impide que sus señales sean alteradas por vibraciones procedentes del freno de rueda.

Como las condiciones de montaje en la zona de la rueda no son siempre idénticas, existen diferentes formas de la espiga polar y distintos modos de montaje.

La más difundida es la espiga polar en forma de cincel, llamada también polo plano, para montaje radial, perpendicular a la corona generadora de impulsos.

La espiga polar en forma de rombo, llamada también polo en cruz, para montaje axial, se encuentra en posición radial respecto a la corona generadora de impulsos.

Los dos tipos de espiga polar han de estar exactamente ajustados a la corona generadora de impulsos en su montaje.

La espiga polar redonda no exige una alineación exacta con la corona generadora de impulsos; ésta, sin embargo, ha de tener un diámetro suficientemente grande o un número reducido de dientes.

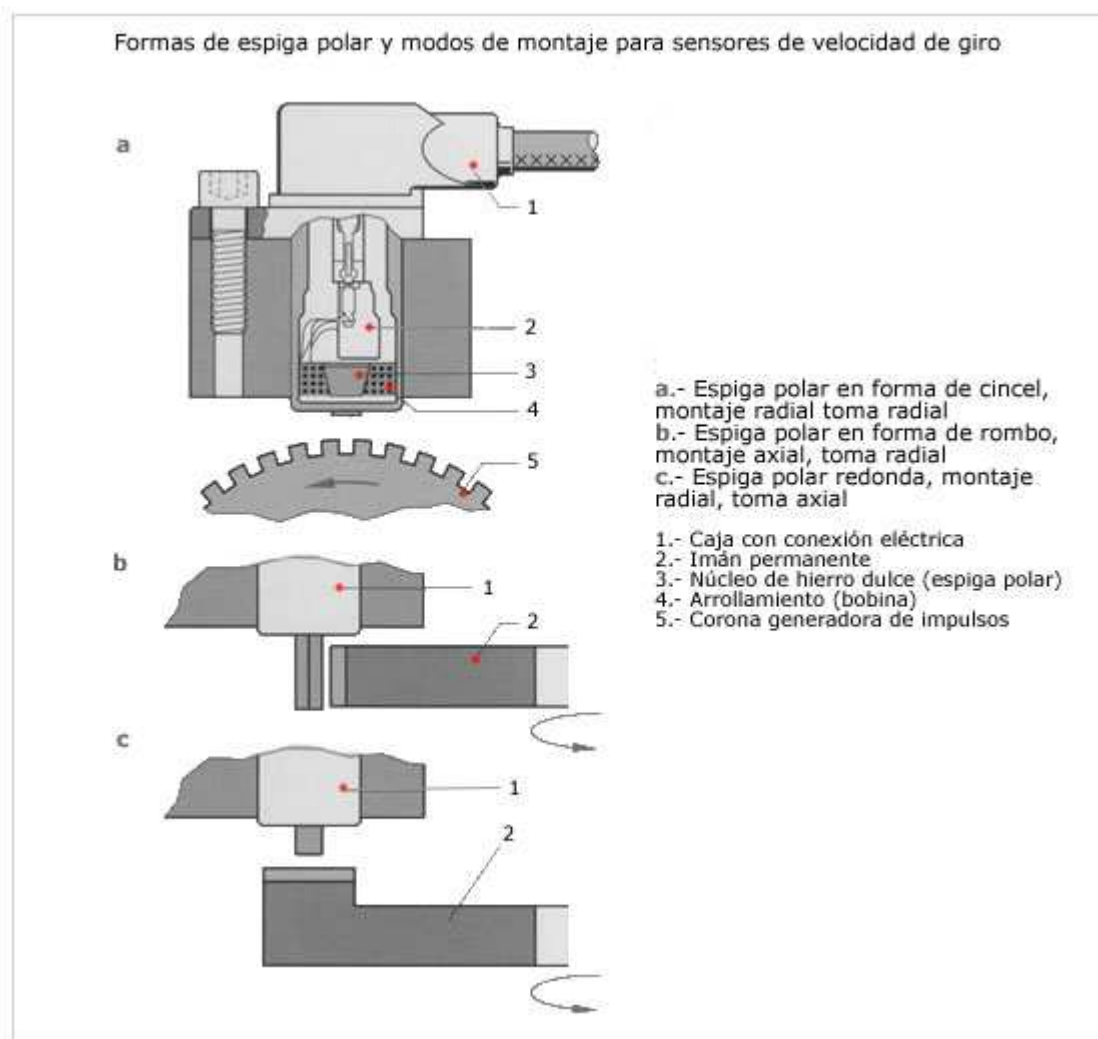


Figura 5.10: Formas y modos de montaje para espiga polar,

## Sensores magneto estáticos

### 5.3.5. Sensores de ángulo de giro (efecto Hall)

#### Aplicación

Estos sensores están montados en las bombas rotativas de inyección Diesel de mando por electroválvulas de alta presión. Su señal se emplea para:

- Medir el número de revoluciones actual de la bomba rotativa.
- Determinar la posición del ángulo de las levas del motor
- Medir la posición de regulación momentánea del variador de avance.



### Bomba de inyección de pistón radial VP44 de BOSCH

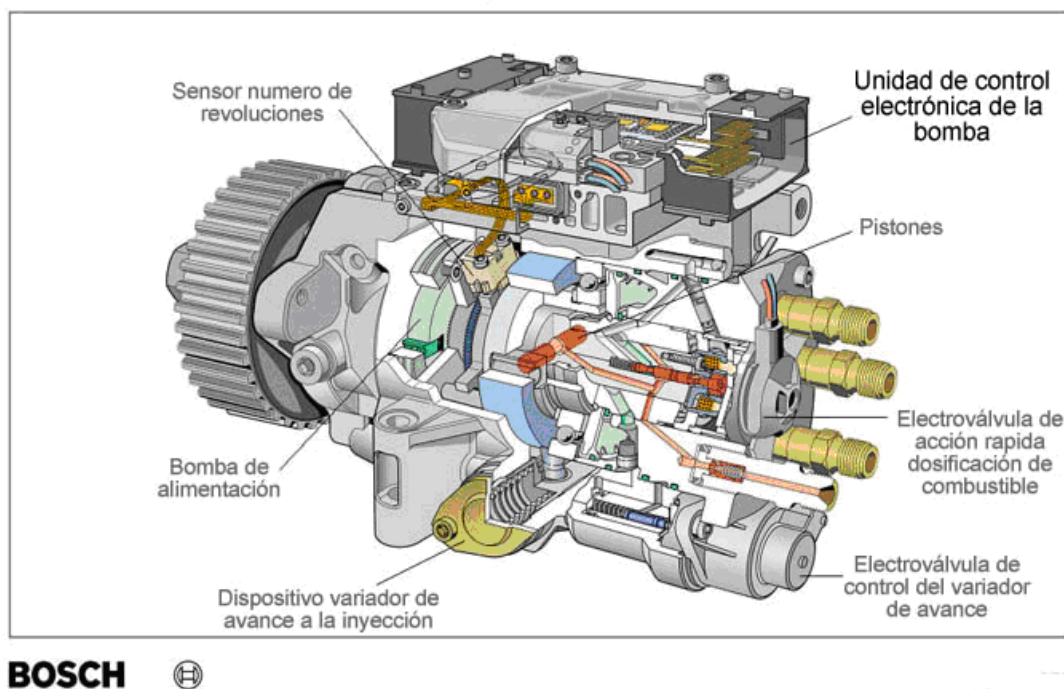


Figura 5.11: Catalogo Bosch con ubicación del sensor magnético de revoluciones.

El número de revoluciones actual de la bomba es una de las magnitudes de entrada para la unidad de control de ésta. La unidad determina así el tiempo de activación de la válvula de alta presión y, dado el caso, de la válvula del variador de avance.

El tiempo de activación de la válvula de alta presión es necesario para adaptar el caudal de inyección teórico a las condiciones de servicio presentes en ese momento.

La posición del ángulo en el instante determina los momentos de activación para la válvula de alta presión. Sólo con una activación correcta respecto al ángulo se garantiza que tanto el cierre como la apertura de la válvula de: alta presión tengan lugar en la carrera de leva correspondiente. La activación exacta asegura el comienzo y el caudal de inyección correctos.

La posición necesaria para la regulación del variador del avance se determina comparando las señales del sensor de revoluciones del cigüeñal con las del sensor del ángulo de giro.

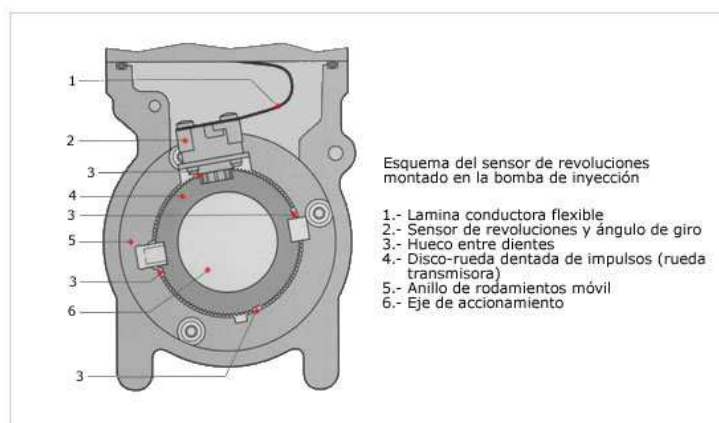


Figura 5.12: Esquema de ubicación de sensor de revoluciones.

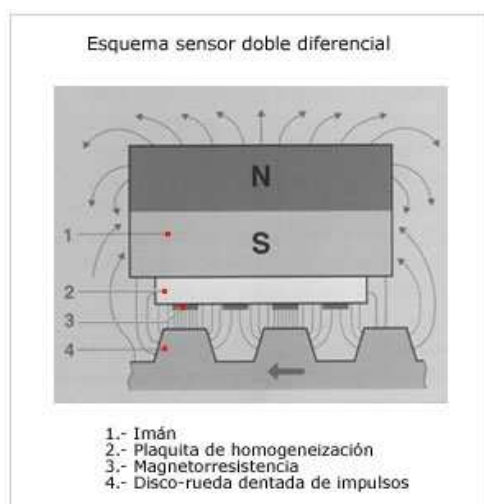
### Estructura y funcionamiento

El sensor de revoluciones o sensor de ángulo de giro explora un disco-rueda de impulsos que tiene 120 dientes y está montado sobre el eje de accionamiento de la bomba rotativa. El disco-rueda tiene repartidos uniformemente en su perímetro, huecos entre dientes, cuyo número corresponde al número de cilindros del motor.

El sensor empleado es un sensor doble diferencial de células resistivas. Estas son resistencias de semiconductor mandadas por campo magnético; su estructura es similar a la de los sensores Hall. Las cuatro resistencias del sensor doble diferencial están conectadas eléctricamente como puente integral.

El sensor tiene un imán permanente cuya cara polar dirigida al disco-rueda de impulsos es homogeneizada por una delgada plaquita ferromagnética. Sobre ella están fijas las cuatro magnetorresistencias a media distancia de la existente entre dientes. De este modo se encuentran siempre alternadas dos resistencias frente a huecos y dos frente a dientes.

Las células magneto resistivas para automóviles soportan temperaturas de hasta  $< 170^{\circ} \text{C}$  y por breve período hasta  $< 200^{\circ} \text{C}$ .



Esquema de sensor doble diferencial

## Sensores de velocidad en el árbol de levas (efecto Hall)

### Aplicación

El árbol de levas está desmultiplicado en una relación de 1:2 respecto al cigüeñal. Su posición indica si un pistón del motor que se mueve hacia el punto muerto superior se encuentra en el tiempo de compresión o en el de escape.

El sensor de fase junto al árbol de levas, también llamado transmisor de fase suministra esta información a la unidad de control.



Figura 5.14:Fotografía de sensores de velocidad de efecto Hall.

### Estructura y funcionamiento

#### Sensores de barra Hall

Los sensores de barra Hall aprovechan el efecto Hall: con el árbol de levas gira un rotor de material ferromagnético.

El circuito integrado Hall se encuentra entre el rotor y un imán permanente que proporciona un campo magnético perpendicular al elemento Hall.

Cuando pasa un diente (Z) por delante del elemento sensor atravesado por corriente del sensor de barra, varía él la intensidad del campo magnético perpendicularmente al elemento Hall. Por tanto, los electrones impulsados por el componente longitudinal de una tensión aplicada al elemento, son desviados en mayor grado perpendicularmente al sentido de la corriente.

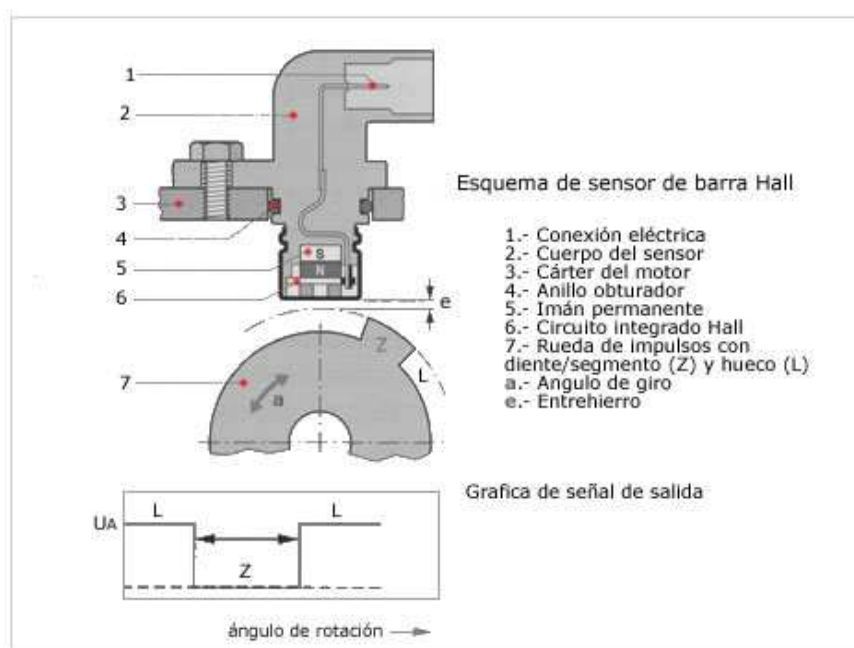


Figura 5.15:Esquema de sensor de barra Hall.

De este modo se genera una señal de tensión Hall, en un margen de milivoltios, independiente de la velocidad relativa entre el sensor y la rueda de impulsos.

El sistema electrónico evaluador incorporado en el circuito integrado Hall del sensor prepara la señal y la entrega como una señal de salida rectangular.

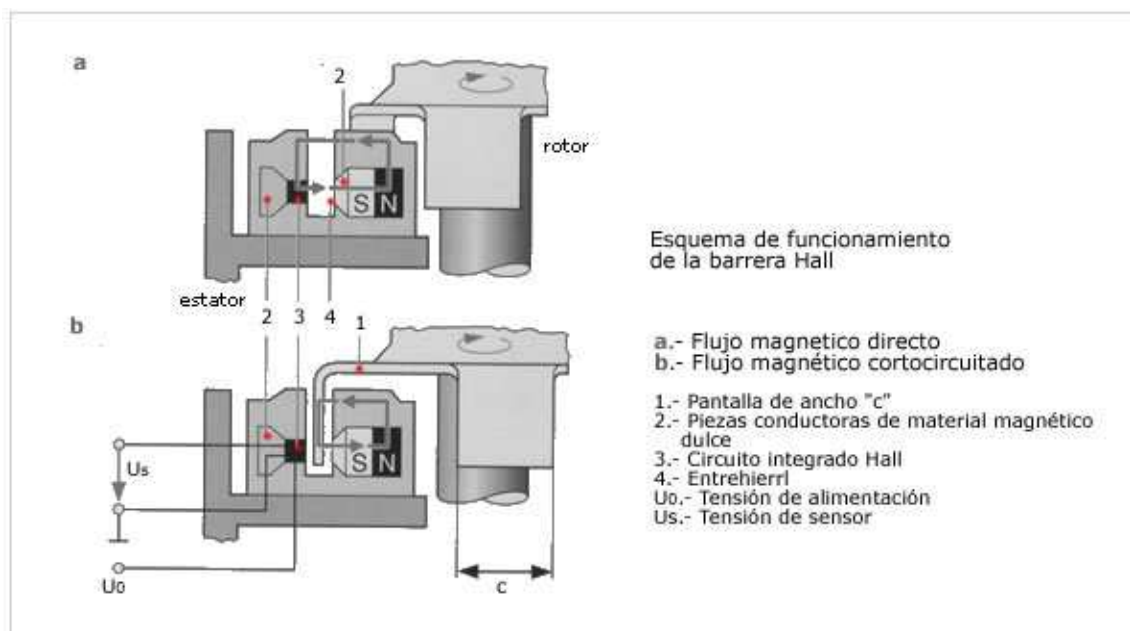


Figura 5.16:Esquema de funcionamiento de sensor de barra Hall.

### Sensores de barrera Hall diferenciales

Los sensores de barra que trabajan según el principio diferencial disponen de dos elementos Hall desplazados en los sentidos radial y axial en el espacio. Éstos suministran una señal de salida proporcional a la diferencia de la densidad de flujo entre los dos puntos de medición. Para ello es necesario, sin embargo, un diafragma con aberturas de doble vía o una rueda de impulsos de doble vía para poder generar una señal opuesta en ambos elementos Hall.

Estos sensores se emplean cuando las exigencias de precisión son muy elevadas lo que constituye otra ventaja es el mayor entrehierro y una buena compensación de la temperatura.

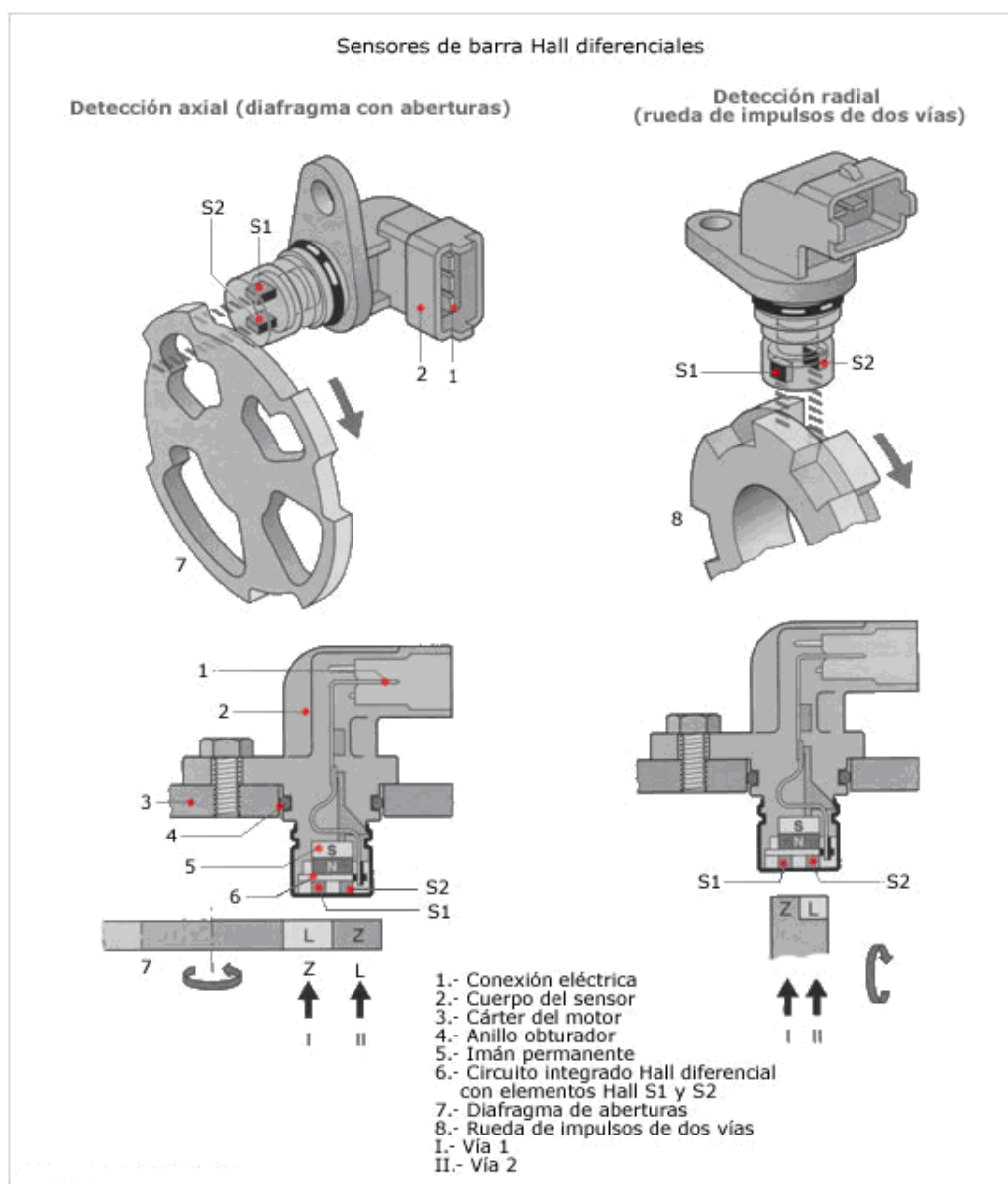


Figura 5.17:Diferentes tipos de sensores de barra Hall según la detección.

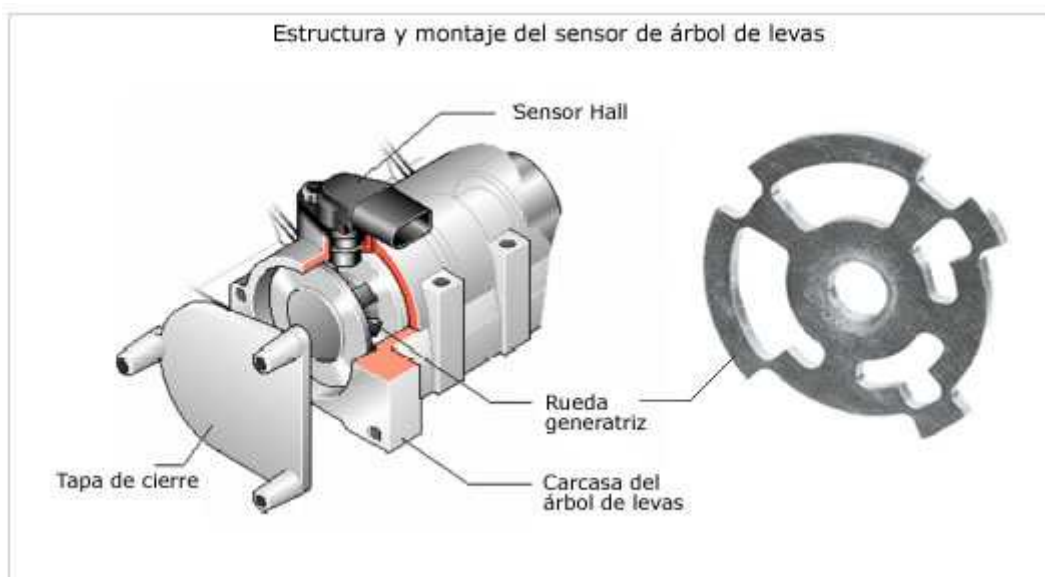


Figura 5.18: Esquema de ubicación y montaje del árbol de levas.

### 5.3.6. Sensores tacometritos de cajas de cambios (efecto Hall)

#### Aplicación

Los sensores tacometritos RS (Rotational Speed Sensor) detectan la velocidad de rotación en cambios de marchas automáticos, semiautomáticos y de variación continua (CVT).

Para esta utilización, los sensores son por su concepción resistentes a los aceites ATF para transmisiones automáticas. El concepto de compactación prevé la integración en el módulo de mando del cambio de marchas o en versión independiente.

La tensión de alimentación UV se encuentra entre 4,5 y 16,5 V y el margen de temperaturas de funcionamiento alcanza de -40 a +150° C.

#### Estructura y funcionamiento

El sensor tacometrito activo posee un C.I. de efecto Hall diferencial y un interfase de corriente bifilar. Para el funcionamiento ha de ser conectado a una fuente de tensión.

El sensor puede detectar la señal de velocidad de rotación generada por ruedas dentadas y discos de chapa ferromagnéticos o por coronas multipolares con un entrehierro entre 0,1 y 2,5mm; aprovecha el efecto Hall y suministra una señal de amplitud constante, independiente de la velocidad de rotación. Eso hace posible una detección de velocidades de rotación de hasta casi  $n = 0$ .



Para la entrega de la señal se modula la corriente de alimentación en el ritmo de la señal incremental. La modulación de la corriente (baja: 7mA, alta: 14mA) es convertida luego mediante una resistencia de medición  $R_M$  integrada en la unidad de control en una tensión de señal  $U_{RM}$ .

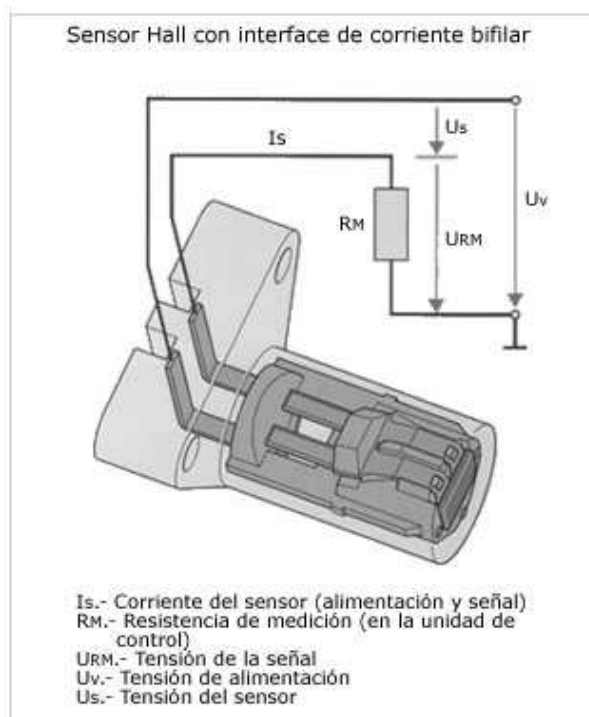


Figura 5.19:Esquema eléctrico de sensor Hall con interfase de corriente bifilar.

Existen dos versiones de sensores tacometritos de cajas de cambios:

#### RS50

- Protocolo de datos: información de velocidad de rotación en forma de señal rectangular.
- Extensión funcional: señal de frecuencia proporcional a la velocidad de impulso y ocasionada por la corona generadora de impulsos al girar pasando por delante de la superficie del sensor.

#### RS51

- Protocolo de datos: información de velocidad de rotación en forma de señal rectangular e informaciones adicionales transmitidas por el procedimiento de modulación de duración de impulsos.
- Extensión funcional: señal de velocidad de rotación, identificación de inmovilización, del sentido de rotación, de la reserva de entrehierro y de la posición de montaje.



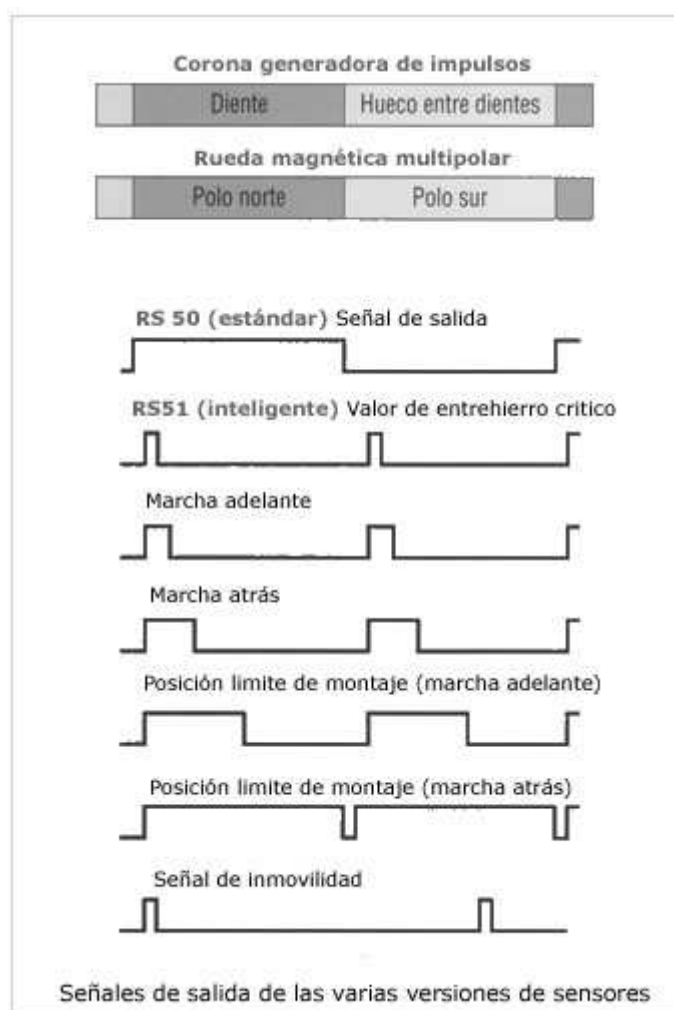


Figura 5.20:Diferentes señales de salida atendiendo al tipo de sensor.

### 5.3.7. Sensor Hall para encendido transitorizado (efecto Hall)

#### Aplicación

Este sensor Hall es un disparador de impulsos para el encendido transitorizado TZ-H.

La señal de esta barrera Hall integrada en el distribuidor de encendido corresponde, en su contenido de informaciones, a la señal del encendido convencional por bobina y mando por contactos; mientras que el ruptor del encendido en el distribuidor determina el ángulo de cierre con la ayuda de la leva de encendido, el sensor Hall en el distribuidor prefija la relación cíclica de impulsos mediante su rotor de pantallas.

## Estructura

El sensor Hall está integrado en el distribuidor de encendido. Su barrera magnética está montada sobre la placa con soporte móvil.

El C. I. Hall se encuentra sobre un soporte cerámico; el circuito y una de sus piezas conductoras están rodeados de plástico fundido como medida de protección contra la humedad, la suciedad y daños de orden mecánico.

Las piezas conductoras y el rotor de pantallas son de material magnético dulce. El número de pantallas es igual al número de cilindros.

El ancho "b" de cada pantalla puede determinar, según el módulo electrónico utilizado, el ángulo de cierre máximo de este sistema de encendido. Por ello, el ángulo de cierre permanece prácticamente constante durante toda la vida útil del sensor Hall; por tanto, no es necesario ya un ajuste del ángulo de encendido.

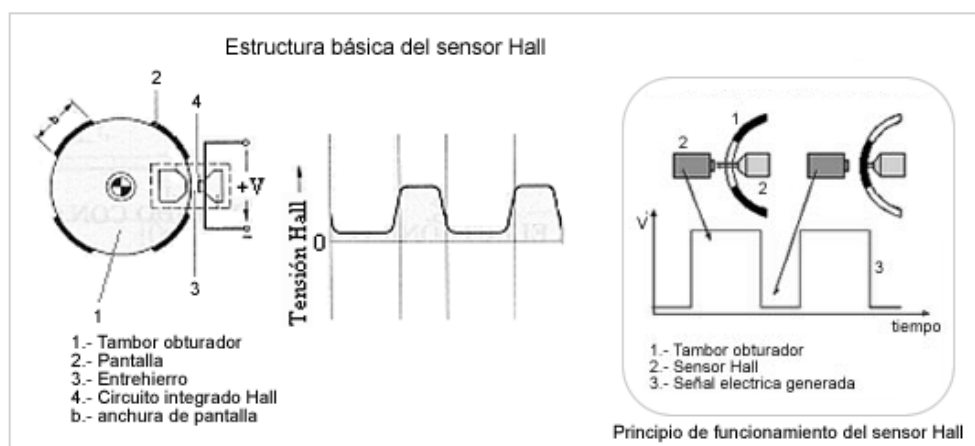


Figura 5.21: Esquema de sensor Hall para encendido transitorizado.

## Funcionamiento

Cuando gira el árbol del distribuidor, las pantallas del rotor pasan sin contacto por el entrehierro de la barrera Hall y en el momento que el entrehierro está libre, el C.I. Hall incorporado y el elemento sensor Hall son atravesados por el campo magnético.

El flujo magnético incide en el elemento sensor Hall y la tensión Hall alcanza su valor máximo. El C.I. Hall está activado. Tan pronto como una de las pantallas entra en el entrehierro, la mayor parte del flujo magnético se dispersa en la pantalla y es mantenido alejado así del C.I. La densidad del flujo desaparece del elemento sensor Hall, excepto una pequeña parte que procede del campo de dispersión. La tensión Hall alcanza un mínimo.

La forma de la pantalla del rotor determina el ángulo de cierre por generación inmediata de una tensión de rampa a partir de la tensión de la señal, sobre esta tensión de rampa se desplaza el punto de activación del ángulo de cierre.

El principio de trabajo y la forma de construcción del sensor Hall permiten un ajuste del encendido estando el motor parado, siempre que no se haya previsto ninguna desconexión de la corriente de reposo.

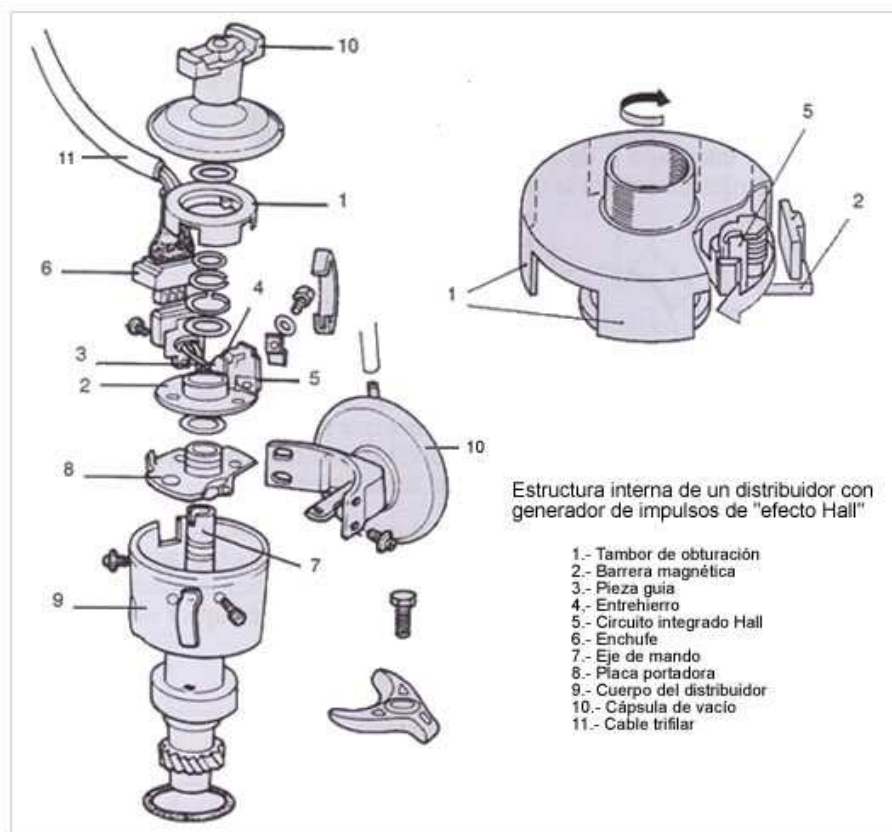


Figura 5.22:Distribuidos con generador de impulsos .(Igual que Figura 5.9)

### 5.3.8. Sensores de convolución

#### 5.3.8.1.Sensores de convolución piezoeléctricos de diapasón

##### Estructura

El sensor de ángulo de rotación o girómetro, se compone de un cuerpo de acero en forma de diapasón provisto de cuatro piezo-elementos, dos en la parte inferior y dos en la parte superior, y de una electrónica de detección.

Este sensor, insensible a perturbaciones magnéticas, efectúa mediciones muy precisas.

Se monta bajo la columna de dirección, junto al transmisor de aceleración transversal, en un soporte común.

Detectan en vehículos con regulación de la dinámica de marcha (ESP) los movimientos de rotación del vehículo sobre su eje vertical.

Este sensor mide la velocidad de viraje, indicado en el equipo de autodiagnóstico como  $^{\circ}/s$  (grados/segundo). Por esta razón la posición de montaje es crítica, ya que un mal montaje implica una señal errónea.

Está compuesto por una electrónica de control y un sensor capaz de medir los giros sobre el eje vertical, denominado diapasón doble. El diapasón está construido a partir de silicio monocristalino. Cuando el diapasón doble se torsiona bajo el efecto de los pares de viraje, la electrónica de control detecta estas sollicitaciones mecánicas y las transforma en señales eléctricas.

Esto requiere que el transmisor sea alimentado con 5 V y masa por la unidad de control, en tanto que la señal enviada del transmisor a la unidad es una tensión que varía en función del par de viraje entre 0 y 5 V, dando un valor de 2,5 V cuando no hay ningún par de viraje aplicado.

Si se analiza el diapasón doble en detalle se observa que consta de dos diapasones simples opuestos entre sí y unidos por la base. Al diapasón superior se le llama de excitación y al inferior, de medición. Están diseñados de tal forma que el diapasón de excitación entra en resonancia al alcanzar una frecuencia de 11kHz, mientras que el diapasón de medición tiene la frecuencia de resonancia a 11,33kHz.

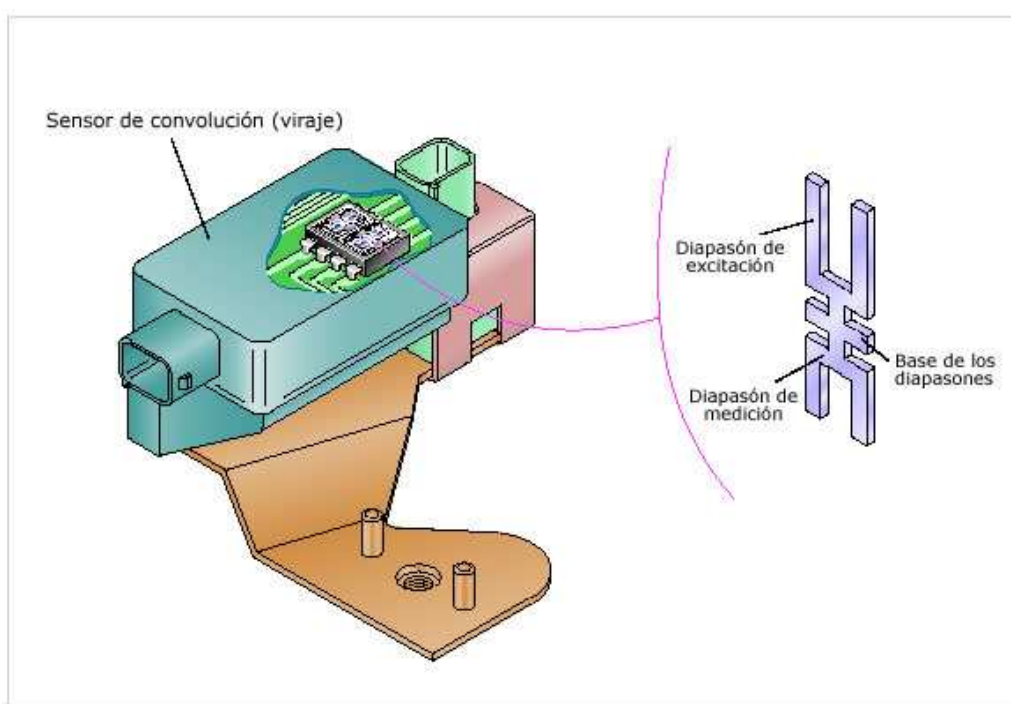


Figura 5.23:Esquema de sensor de convolución con diapasón.

## Funcionamiento

Al aplicarse una tensión, los piezo-elementos inferiores comienzan a vibrar y excitan a su vez los piezo-elementos en los extremos superiores del diapasón, haciendo que generen vibraciones de fase opuesta.

- Marcha en línea recta

Al marchar en línea recta, ninguna aceleración de Coriolis actúa sobre el diapasón. Como los piezo-elementos superiores vibran siempre en fase opuesta y sólo son sensitivos perpendicularmente al sentido de las vibraciones, no generan ninguna tensión.

- Marcha por una curva

La aceleración de Coriolis, que se manifiesta cuando tiene lugar un movimiento de giro en unión con el movimiento vibratorio, se aprovecha para la medición en la curva.

El movimiento de giro ocasiona entonces el desplazamiento de las zonas superiores del diapasón fuera del plano de vibración, a causa de ello se origina en los piezo-elementos superiores una tensión eléctrica alterna, que llega a la centralita del control de estabilidad a través de una electrónica integrada en la caja del sensor.

La amplitud de la señal de tensión depende tanto de la velocidad de giro como de la velocidad de vibración.

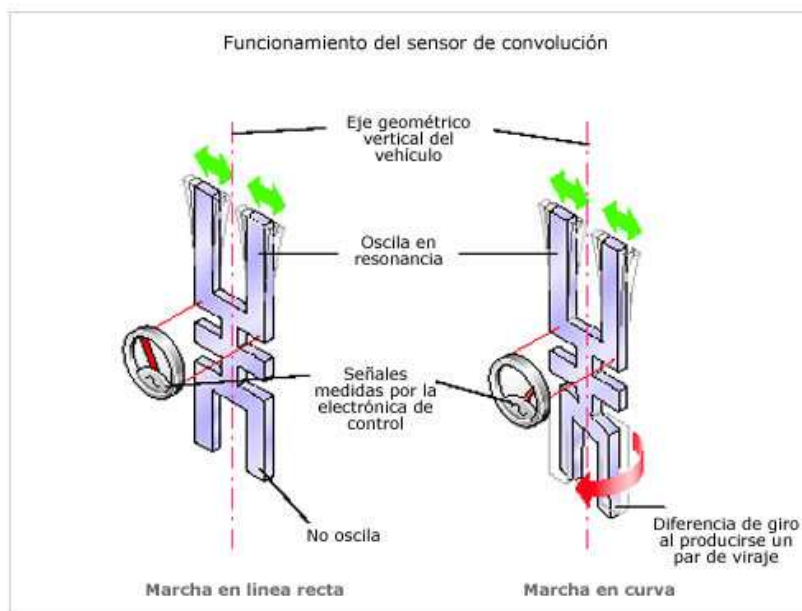


Figura 5.24: Esquema funcionamiento de sensor de convolución con diapasón.

## Sensores de convolución piezoeléctricos

### Aplicación

Se trata de otro modelo de sensor de viraje o de velocidad de viraje.

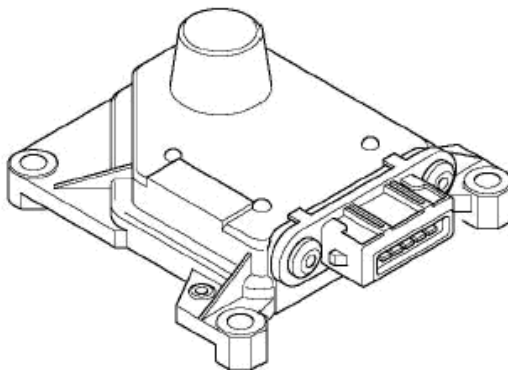


Figura 5.25: Sensor piezoeléctrico de viraje.

### Estructura y funcionamiento

Los sensores de convolución piezoeléctricos son detectores mecánicos de precisión.

Un cilindro metálico hueco oscilatorio es excitado al oscilar y es mantenido en resonancia en sentido radial por dos cerámicas piezoeléctricas, diametralmente opuestas y fijadas en el cilindro.

Un segundo par de cerámicas piezoeléctricas, desplazado  $90^\circ$  del primero, estabiliza la oscilación a una amplitud constante. Esta amplitud presenta cuatro nudos de oscilación alineados en sentido axial y desplazados  $45^\circ$  del sentido de excitación.

Al girar a la velocidad de convolución alrededor del eje del cilindro, los nudos se desplazan ligeramente en la periferia por el efecto de la aceleración de Coriolis. En esos nudos que, normalmente están libres de fuerza, aparecen entonces unas fuerzas proporcionales a la velocidad de rotación, que son detectadas por un tercer par de cerámicas piezoeléctricas.

Un cuarto par de excitación y un bucle cerrado de regulación reducen la tensión resultante a un valor de referencia de 0V. La magnitud de ajuste necesaria para ello sirve, tras un esmerado filtrado realizado por un rectificador de sincronización de fases, como señal de salida extremadamente precisa.

Mediante una encauzada variación provisional del valor teórico a 0V, se puede comprobar fácilmente el sistema total del sensor.

La derivación térmica de este sensor requiere la existencia de un complejo circuito de compensación.

La inevitable alteración con el tiempo de las características del material de los elementos piezoeléctricos obliga además a realizar un envejecimiento prematuro esmerado.

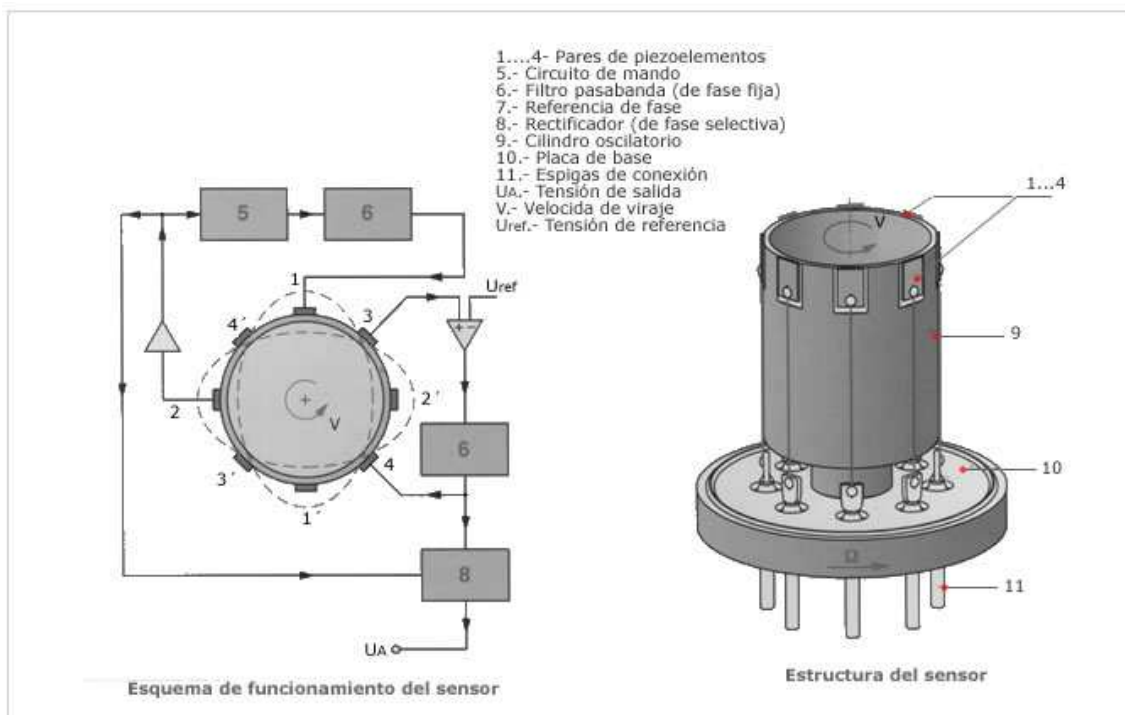


Figura 5.26:Esquema de funcionamiento de sensor de convolución piezoeléctrico.



## 6. SENSORES DE ACELERACIÓN Y DE VIBRACIONES

### 6.1. Descripción general

Los sensores de aceleración y de vibraciones son apropiados para la regulación contra la detonación en motores de combustión interna, también sirven para activar sistemas de protección de los pasajeros (airbag, tensores de cinturón, arco contra el vuelco) y para detectar aceleraciones en las curvas y variaciones de velocidad en vehículos de tracción integral equipados con el sistema antibloqueo ABS o el programa electrónico de estabilidad ESP, o con un sistema de regulación del tren de rodaje.

La magnitud de medición es la aceleración, que con frecuencia se indica como múltiple de la aceleración de la gravedad ( $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) para valores típicos de los automóviles.

Figura 6.1: Medidas de aceleración y rango de medida.

Sensores de aceleración y de vibraciones	
Aplicación	Campo de medición
Regulación contra la detonación	1....10g
Protección de los pasajeros - Airbag, tensor de cinturón - Arco contra el vuelco - Bloqueador de cinturón	50g 4g 0,4g
ABS, ESP	0,8g.....1.2g
Regulación del tren de rodaje: - Carrocería - Eje	1g 10g

### 6.2. Principios de medición

Todos los sensores de aceleración miden en principio, con arreglo a la ley fundamental de la mecánica, las fuerzas  $F$ , ejercidas por la aceleración " $a$ " sobre las masas " $m$ ", sea ya de modo únicamente dinámico o también estático:

$$F = m \cdot a$$

Como en el caso de medición de una fuerza, existen sensores que miden un desplazamiento y otros que miden esfuerzos mecánicos. El encapsulamiento en estos sensores tiene una importancia decisiva para la calidad de la detección. En su función de sensores de inercia detectan la magnitud de medición sin la menor comunicación con el exterior; puede encapsularse pues fácilmente de modo hermético.

Han de disponer, sin embargo, de medios apropiados para un acoplamiento mecánico lo mas rígido posible al cuerpo a medir, pues elementos intermedios adicionales elásticos o sueltos alterarían considerablemente la medición. Este acoplamiento rígido y fijo no debe dar lugar, sin embargo, a que las posibles dilataciones térmicas del cuerpo a medir se transmitan al sensor, lo que podría influir en el valor medido.

Hay que tener en cuenta que los sensores piezoeléctricos tienen una alta resistencia interior, es recomendable instalar un primer amplificador desacoplador directamente junto al sensor, a ser posible incluso dentro de una caja hermética común, para detectar la tensión de salida.

Largos cables de alimentación alteran la señal, tanto por su capacidad parásita (divisor de tensión) como por su resistencia efectiva parásita.

#### Ejemplo de sensores de aceleración:

- Sensores de aceleración de efecto Hall.
- Sensores de aceleración micro mecánicos
- Sensores de aceleración piezoeléctricos

### **6.3. Tipos de sensores de aceleración**

#### **6.3.1. Sensores de aceleración de efecto Hall**

##### **Aplicación**

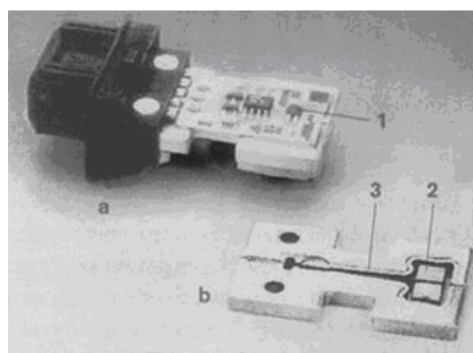
Los vehículos equipados con el sistema antibloqueo ABS, el control de tracción ASR, una tracción integral o con el programa electrónico de estabilidad ESP disponen además de:

- Sensores de velocidad de giro de las ruedas
- Sensor de aceleración de efecto Hall para la medición de las aceleraciones longitudinal y transversal del vehículo.

Para su correcto funcionamiento y debido a su función en el sistema, es conveniente que este sensor esté instalado lo más cerca posible del centro de gravedad del vehículo.

Su misión es la de detectar si existen fuerzas laterales que traten de sacar el vehículo de la trayectoria deseada y detectar su intensidad.

Este detector es muy sensible y delicado, por lo que puede sufrir daños con facilidad.



a.- Electrónica  
b.- Sistema de masa-resorte  
1.- Sensor de efecto Hall  
2.- Imán permanente  
3.- Resorte

Figura 6.2:Esquema de un sensor de aceleración.

### Estructura y funcionamiento

El sensor de aceleración de efecto Hall esta constituido por un resorte en forma de cinta puesto de canto, fijado por uno de sus extremos. En el extremo libre opuesto está colocado un imán permanente en función de masa sísmica que se mueve. Sobre el imán permanente se encuentra el verdadero sensor de efecto Hall con la electrónica de evaluación. Debajo del imán hay colocada una plaquita de amortiguación de cobre.

Al estar sujeto el sensor a una aceleración transversal al resorte, la posición de reposo del sistema masa-resorte cambia.

Su desplazamiento es un parámetro específico de la aceleración. El flujo magnético "F" ocasionado por el movimiento del imán genera una tensión Hall  $U_H$  en el sensor de efecto Hall. La tensión de salida  $U_A$  resultante de ello y procedente de la electrónica de evaluación aumenta linealmente con la aceleración.

El sensor está concebido para un reducido ancho de banda de algunos Hz y posee una amortiguación electrodinámica.

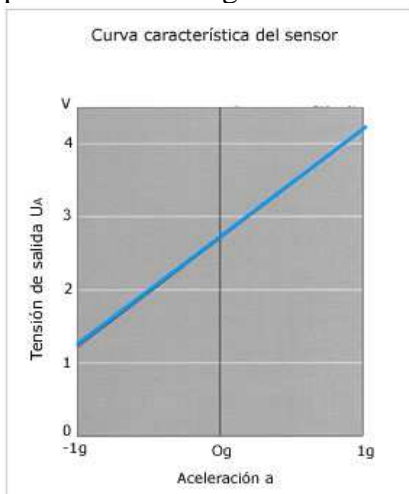


Figura 6.3:Función de transferencia de un sensor de aceleración.

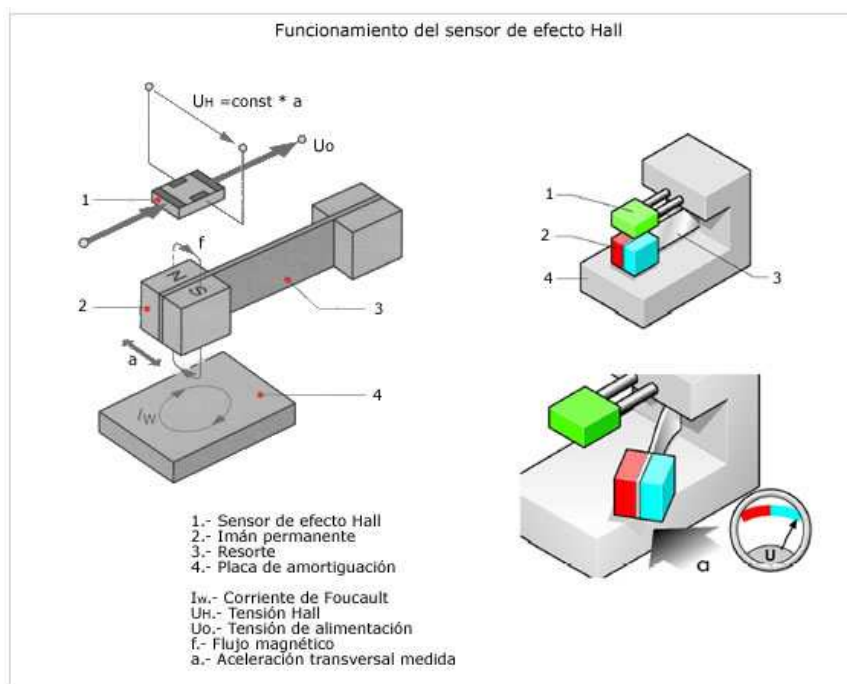


Figura 6.4:Esquema de funcionamiento de un sensor de aceleración de efecto Hall.

### 6.3.2. Sensores de aceleración realizados por micromecánica

#### Aplicación

Los sensores de aceleración realizados por micromecánica de superficie y destinados a los sistemas de retención de pasajeros detectan los valores de aceleración de un choque frontal o lateral y provocan la activación de los sensores de cinturón, el disparo de los airbag y la actuación del arco antivuelco.

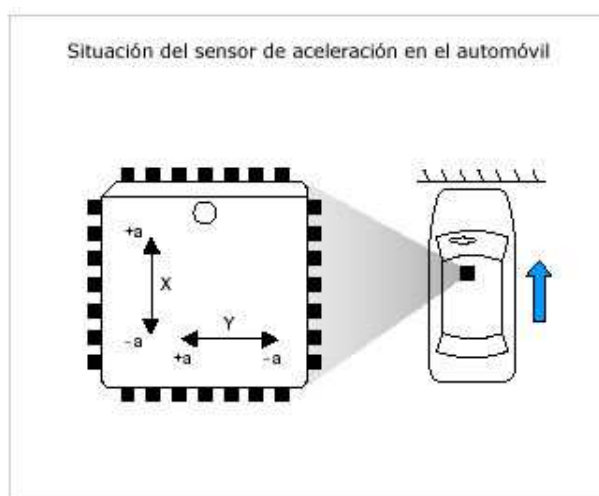


Figura 6.5: Ubicación de sensor realizado por micromecánica en un automóvil.

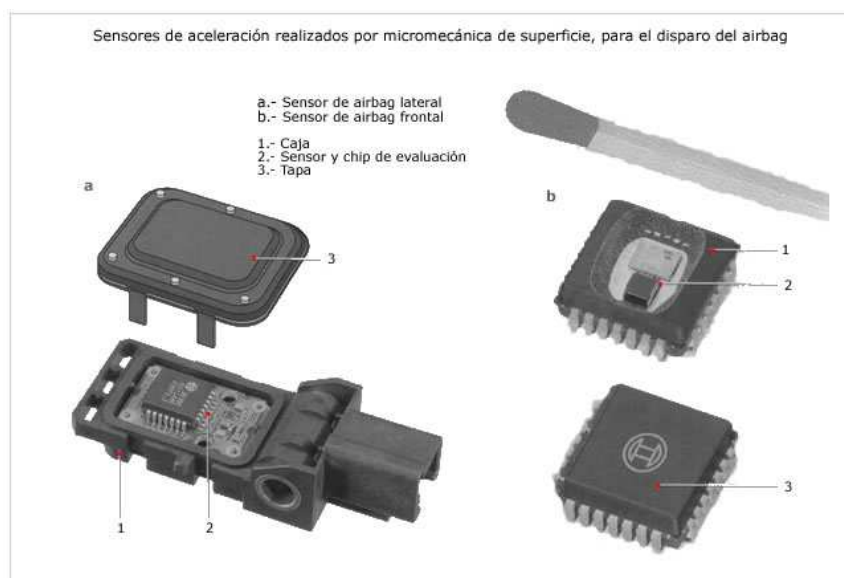


Figura 6.6: Sensores realizados por micromecánica para el disparo del airbag.

### Estructura y funcionamiento

Estos sensores, utilizados primero para detectar altas aceleraciones (50 a 100 g) en sistemas de protección de pasajeros, son también apropiados para medir aceleraciones de reducida intensidad.

Comparados con los sensores de silicio realizados por micromecánica de volumen, son mucho más compactos y están alojados junto con la electrónica de evaluación (ASIC) en una caja estanca al agua.

Su sistema de masa-resorte está montado sobre la superficie de la plaquita de silicio por un procedimiento aditivo.

La masa sísmica, cuyos electrodos tienen la forma de un peine, está suspendida elásticamente dentro de la célula de medición. A ambos lados de esos electrodos móviles hay colocados sobre el chip electrodos fijos, asimismo en forma de peine. Esta disposición de electrodos fijos y móviles corresponde a una conexión en serie de dos condensadores diferenciales C1 y C2 (capacidad de la estructura de peine, aproximadamente de 1pF). A los bornes de estos condensadores se aplican tensiones alternas de fases opuestas, cuya superposición es detectada en el punto CM (capacidad de medición) entre los condensadores, o sea, en la masa sísmica.

Como la masa sísmica está suspendida de resortes, una aceleración lineal  $a$  en el sentido de detección ocasiona una variación de la distancia entre los electrodos fijos y móviles y, por consiguiente, una variación de capacidad en los condensadores C1 y C2. De ello resulta una variación de la señal eléctrica que en la electrónica de evaluación (ASIC) es amplificada, filtrada y digitalizada para su transmisión a la unidad de control de los airbag.

Por razón de la reducida capacidad de aprox. 1pF, la electrónica de evaluación está integrada directamente en el sensor sobre el mismo chip o estrechamente unida al sensor.

Es posible la realización de sistemas reguladores de posición con vuelta electrostática al estado inicial.

El circuito de evaluación dispone también de una compensación de desviaciones del sensor y de una auto diagnosis durante la fase de puesta en funcionamiento.

Para la auto diagnosis, unas fuerzas electrostáticas provocan el desplazamiento de la estructura en forma de peine y simulan así el proceso que tiene lugar durante la aceleración en el vehículo.

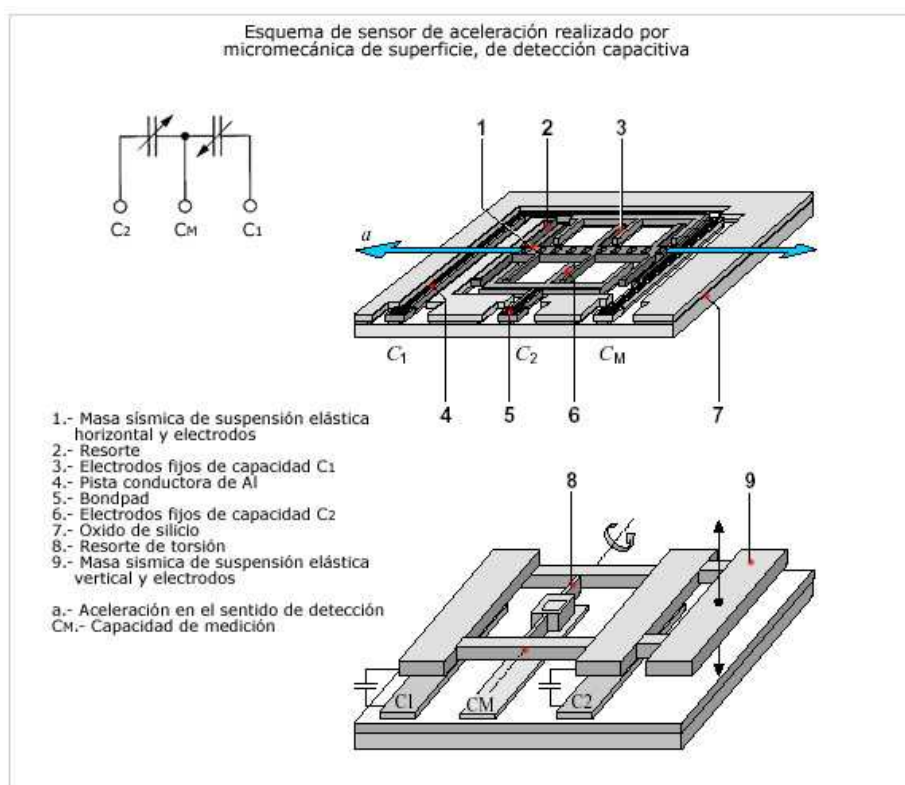


Figura 6.7: Sensor realizado por micromecánica y de detención capacitiva.

Existen también sensores micro mecánicos dobles, utilizados por ejemplo en el programa electrónico de estabilidad ESP para la regulación de la dinámica de marcha.

Están constituidos en realidad por dos sensores individuales. Un sensor de convolución y un sensor de aceleración micro mecánico forman un módulo compacto. De ese modo se reduce el número de componentes y de líneas transmisoras de señales. Además, se necesitan menos puntos de fijación y espacio de montaje en el vehículo.

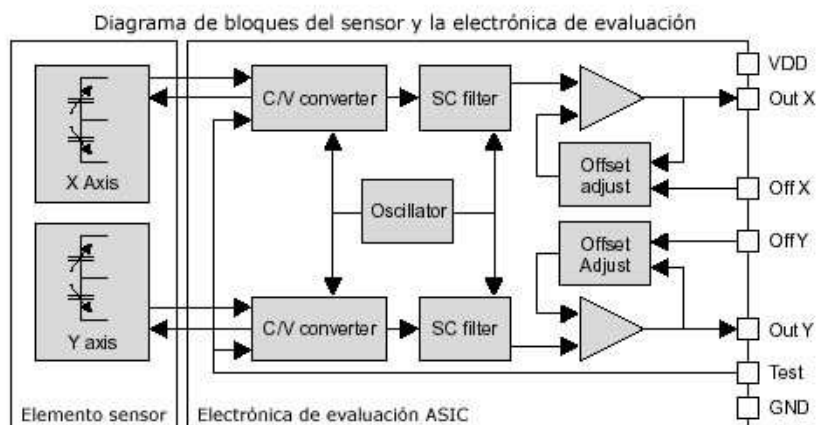


Figura 6.8:Diagrama de bloques de sensor de aceleración.



Figura 6.9:Fotografía sensor aceleración transversal combinado con sensor de viraje.

### 6.3.3. Sensores de aceleración piezoeléctricos

#### Aplicación

Los sensores de aceleración piezoeléctricos son por su principio de funcionamiento sensores de vibraciones; son muy a propósito para detectar vibraciones debidas a ruidos de impacto. Estas pueden presentarse en el motor de un vehículo en caso de combustión incontrolada y se conocen bajo el nombre de picado.

El sensor convierte las vibraciones en señales eléctricas y las transmite a la unidad de control. En general, los motores de hasta 4 cilindros en línea son equipados con un solo sensor de picado, los motores de 5 ó 6 cilindros con dos sensores, los motores de 8 ó 12 cilindros con dos sensores o más. Se conmutan en función del orden de encendido.





Figura 6.10: Sensor de aceleración piezoeléctrico para detección de picado.

### Estructura y funcionamiento

Por razón de su inercia, una masa ejerce fuerzas de presión al ritmo de las vibraciones incitantes sobre un elemento piezocerámico de forma anular.

Estas fuerzas provocan una transferencia de carga dentro del elemento de cerámica: entre los lados superiores e inferior de este elemento se origina una tensión eléctrica que es tomada por discos de contacto y procesada subsiguientemente en la unidad de control.

Las tensiones transmitidas por el sensor son evaluables por medio de un amplificador de tensión alterna de alta impedancia, por ejemplo en la unidad de control del sistema de encendido o en la del sistema de gestión del motor Motronic.

La sensibilidad corresponde a la tensión de salida por unidad de aceleración [mV/g].

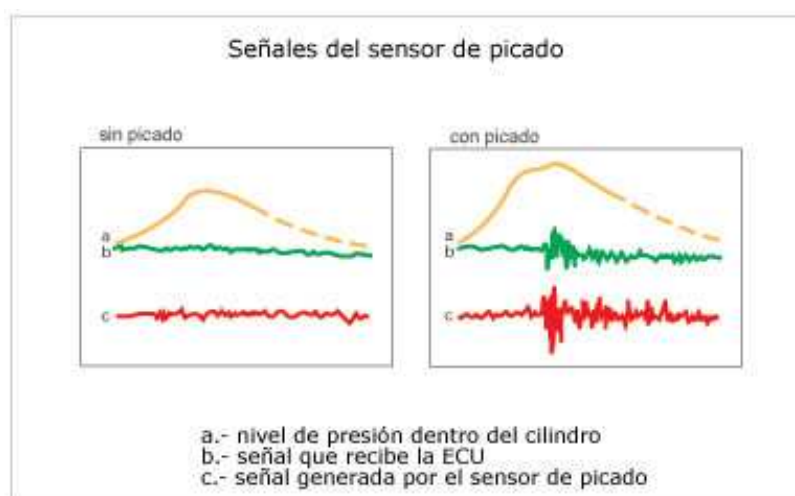


Figura 6.11: Graficas que determinan la forma de la señal de picado.

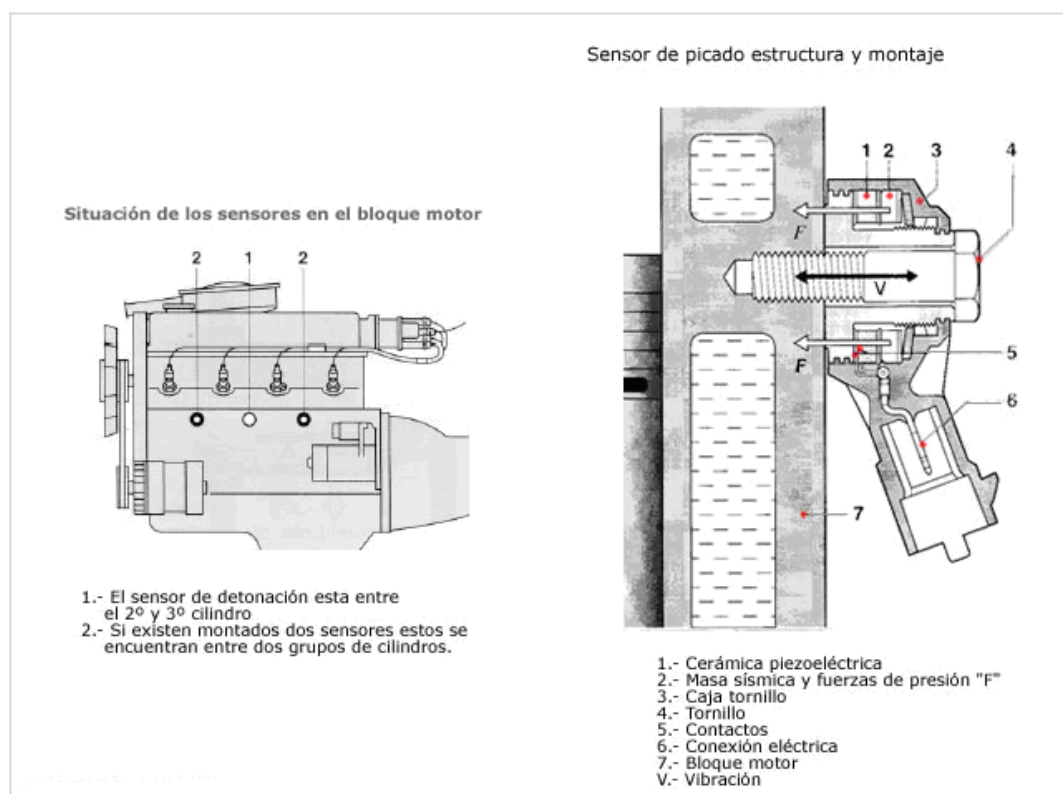


Figura 6.12:Esquema de funcionamiento y ubicación del sensor de picado.

### Características del montaje adosado

El lugar de montaje de un sensor de picado se elige para el respectivo motor de manera que se pueda detectar fiablemente el picado originado en cada cilindro. Generalmente se encuentra en el lado ancho del bloque motor.

A fin de que las señales generadas, vibraciones debidas a los ruidos de impacto, puedan ser transmitidas directamente, sin resonancia y de acuerdo con la característica seleccionada, del punto de medición en el bloque motor al sensor que esta fijado con un tornillo, es conveniente que:

- El tornillo de fijación esté apretado con un par definido,
- La superficie de contacto y el taladro en el motor presenten la calidad prescrita.
- No se utilice ninguna arandela simple o elástica para asegurar el sensor.

### 6.3.4. Sensor de pistoneo

#### Aplicación

En las primeras versiones de inyección electrónica, el sistema de encendido no formaba parte del primero, ya que se los consideraban como dos sistemas separados, que en realidad así lo eran.

Con las innovaciones y mejoras de los sistemas de inyección se inició la relación entre la inyección y el sistema de encendido, ya que los datos de revoluciones, avance y retardo del punto de encendido eran parámetros muy importantes de tenerlos en cuenta para que se logre una combustión perfecta dentro del cilindro.

Por esto el computador de este sistema tiene la facultad de adelantar el punto de encendido para obtener a mayor potencia posible, pero al adelantar este punto, el motor empieza a pistonear, dañándose consecuentemente. Para contrarrestar este pistoneo, se debe corregir, retardando el punto de encendido.

Justamente esta función de determinar un punto de encendido idóneo la debe cumplir el computador y el sensor que le informa es el sensor de pistoneo.

### Estructura y funcionamiento

Este sensor es diseñado de un material piezoeléctrico, alojado en un cuerpo metálico y localizado en la parte superior del bloque de cilindros, lugar en donde se obtiene el golpe del pistoneo. Este material tiene la característica de generar una tensión eléctrica con el golpe que detecta, señal que se dirige al computador, el cual corrige este punto retardándolo, hasta que no recibe señal, para luego adelantarlos nuevamente, y así sucesivamente, manteniendo con ello unas condiciones exactas de funcionamiento.

Este sensor, por lo tanto, se ha instalado en los sistemas modernos de inyección, sistemas que trabajan en conjunto con el sistema de encendido y logran una perfecta definición de la combustión y con ello la mayor potencia del motor y con la menor contaminación de los gases de escape.

En algunos motores de doble fila de cilindros, como son por ejemplo los casos de motores en "V" o motores de pistones antagónicos se instalan a dos sensores, los cuales informan individualmente de cada lado del motor.

En los esquemas se pueden notar la constitución del sensor y su apariencia.

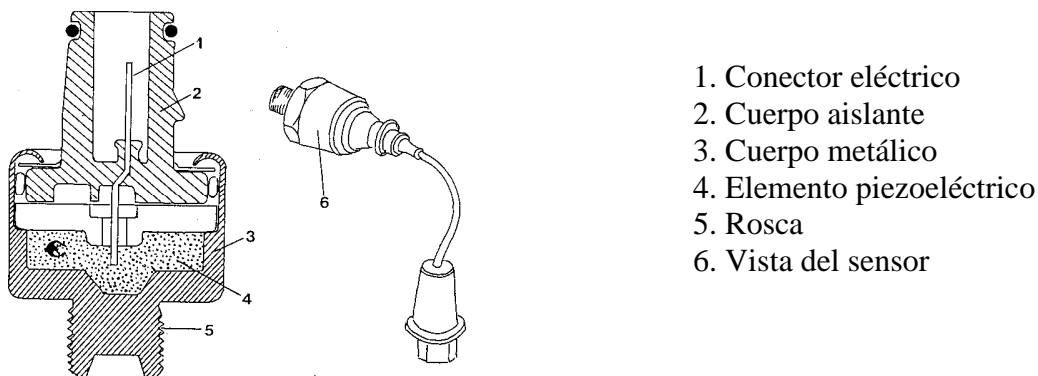


Figura 6.13:Esquema de sensor de pistoneo.

## 7. SENSORES DE CAUDAL

### 7.1. Descripción general

De la necesidad de medir caudales cada vez más heterodoxos ha ido surgiendo la utilización de principios físicos cada vez más originales. Cada uno tiene ventajas en ciertas condiciones.

Por lo general los caudalímetros se basan en el empleo de un sensor que genera pulsos eléctricos, o señales, proporcionales al caudal, con los cuales podemos obtener una indicación visual de la velocidad del fluido (por ejemplo en m/segundo), de su flujo volumétrico (por ejemplo l/hora), o de su flujo másico (por ejemplo Kg/hora) y, a partir de ella, totales acumulados.

Esto requiere un proceso de computación, o integración electrónica, que se realiza generalmente en un indicador. Opcionalmente el indicador puede luego generar alarmas (de alto, alto-alto, bajo, o bajo-bajo caudal) y/o señales digitales, analógicas o nuevamente de pulsos, para otros indicadores, y para arranque o parada de bombas. También puede generar datos digitales para PLCs, PCs o computadoras mayores que controlan dosificación en Procesos químicos.

### 7.2. Principios de medición

La función de medir caudales se utiliza en el automóvil sólo en dos sectores principales:

- Para la detección de la cantidad de combustible suministrado.
- Para medir la cantidad de aire aspirado para la combustión.

#### Medición del caudal de combustible suministrado

Los sistemas de inyección de mando electrónico efectúan la dosificación precisa de la cantidad de combustible requerida por el motor de combustión interna partiendo de parámetros bien definidos, tales como duración de inyección, posición del dispositivo de dosificación, presión de inyección, temperatura del combustible, etc.

La dosificación puede efectuarse de modo continuo o intermitente, e incluso sin medición especial del caudal.

Con la llegada de la gestión electrónica para la alimentación de motores, no es necesaria la medición del caudal de combustible ya que la electrónica ya se encarga de dosificarlo correctamente.

### Medición caudal de aire aspirado

El término cantidad de aire frecuentemente usado no precisa si se trata de un volumen o de una masa. Pero como el proceso químico de la combustión se basa terminantemente en relaciones de masa, el objetivo explícito de la medición lo constituye la masa de aire de admisión o de sobrealimentación.

El flujo de masa de aire es, por lo menos en los motores de gasolina, el parámetro de carga más importante. Los sensores que miden una cantidad o en general un flujo gaseoso se llaman también anemómetros y caudalímetros.

El flujo de masa de aire máximo a medir está comprendido, por término medio, entre 400 y 1200kg/h, según la potencia del motor.

Por razón de la baja demanda de aire en ralentí de los motores modernos, la relación entre los caudales mínimo y máximo es de 1:90 a 1:100.

Las severas exigencias impuestas a causa de las emisiones de gases de escape y del consumo obligan a alcanzar exactitudes del 1 al 2% del valor de medido.

El motor no recibe el aire en forma de corriente continua, sino al ritmo de los tiempos de apertura de las válvulas de admisión. Y así ocurre que la corriente de masa de aire sea afectada por fuertes pulsaciones, particularmente si la mariposa está ampliamente abierta.

Debido a resonancias que se generan en el tubo de admisión, la pulsación es a veces tan fuerte que incluso se producen por breve tiempo reflujos del aire. Este fenómeno aparece sobre todo en motores de cuatro cilindros, en los que no se solapan las fases de admisión y de carga.

Un medidor de caudal exacto ha de detectar el sentido de esos reflujos del aire.

Como ejemplos de medidores de caudal de aire tenemos de la marca BOSCH los siguientes:

- Sonda volumétrica de aire por plato sonda LMM.
- Medidor de masa de aire por hilo caliente HLM.
- Medidor de masa de aire por película caliente HFMS
- Captador de presión absoluta.

### 7.3. Tipos de sensores

#### 7.3.1. Sonda volumétrica de aire por plato sonda LMM

##### Aplicación

La sonda volumétrica de aire de presión dinámica LMM es utilizada todavía en numerosos motores de gasolina equipados con determinadas versiones de un sistema de inyección, modelos L-Jetronic o M-Motronic.

Esta sonda se encuentra ubicada entre el filtro de aire y la mariposa y tiene la función de detectar el flujo volumico de aire  $Q$  aspirado por el motor, a fin de determinar la carga según el principio de la presión dinámica.

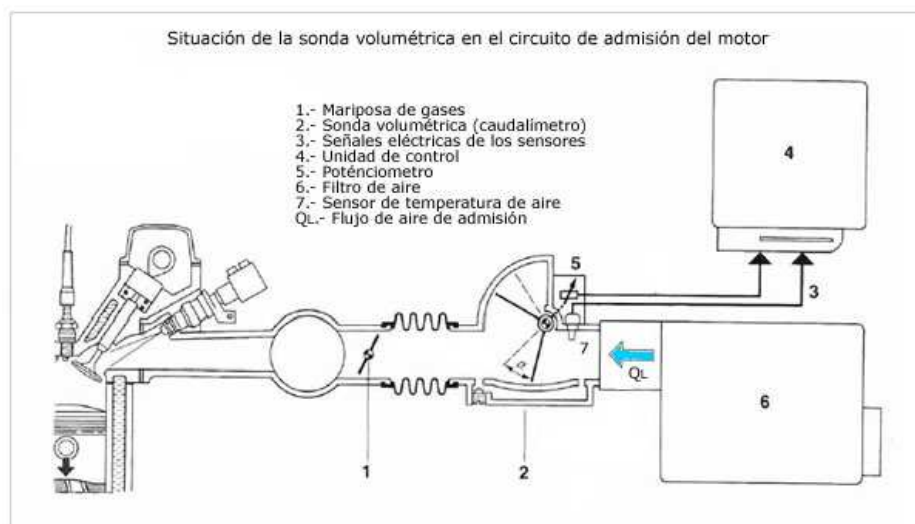


Figura 7.1:Esquema de ubicación de la sonda volumétrica en el plato sonda.

##### Estructura y funcionamiento

El plato sonda móvil de la sonda volumétrica de aire desempeña el papel de un diafragma variable. El flujo del aire de admisión  $Q_L$  desplaza el plato sonda contra la fuerza constante de un muelle antagonista, de manera que la sección de paso libre se vuelve mayor a medida que aumenta el volumen de aire.

La variación de la sección de paso libre de la sonda volumétrica de aire en función de la posición del plato sonda, se ha elegido de manera que obtuviera una relación logarítmica entre el ángulo del plato y el volumen de aire aspirado. Eso ha dado por resultado una gran sensibilidad de la sonda volumétrica de aire para pequeños caudales de aire que exigen una alta precisión de medición.

La precisión requerida es de un 1 a un 3 % del valor de medición a lo largo de un campo de  $Q_{max}$ :  $Q_{min} = 100: 1$ .

Un potenciómetro cuyo cursor toma la posición angular del plato sonda y la convierte en una tensión de salida UA, que es transmitida a la unidad de control.

A fin de que el envejecimiento y la derivación térmica del potenciómetro no influyan en la precisión, la unidad de control evalúa solamente relaciones de resistencia.

Otro efecto que hay que tener en cuenta procede de las carreras de admisión de los diversos cilindros, que producen oscilaciones en el sistema de admisión del motor.

El sensor sólo puede seguir tales oscilaciones de frecuencia hasta 10 Hz. A fin de reducir estas influencias todo lo posible, un plato de compensación unido fijamente con el plato sonda de medición y trabajando en cooperación con un volumen de amortiguación, amortigua las oscilaciones originadas por el aire aspirado pulsante.

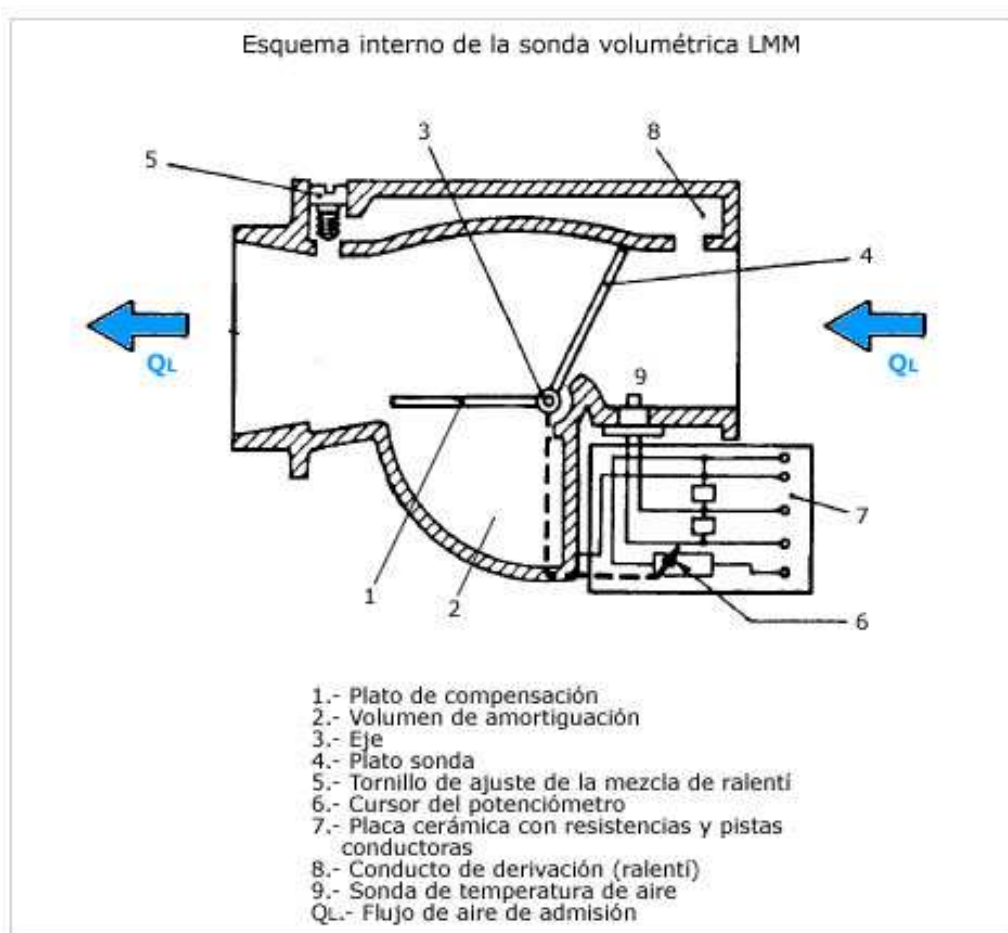


Figura 7.2:Esquema interno de sonda volumétrica.



La medición según el principio de presión dinámica no determina el flujo másico real del aire aspirado por el motor, por esta razón para la dosificación precisa del combustible es necesario por tanto realizar una corrección de la masa volúmica teniendo en cuenta la temperatura del aire y la presión atmosférica.

A fin de tener en cuenta las variaciones de la masa volúmica del aire al fluctuar la temperatura del aire de admisión, la unidad de control determina un valor de corrección a partir de la resistencia termosensible de un sensor de temperatura integrado en la sonda volumétrica de aire.

En versiones destinadas a la M-Motronic se efectúa además una corrección barométrica. A este efecto, un sensor de presión comunica neumáticamente con el colector de admisión y detecta así la presión absoluta del colector de admisión.

El sensor está integrado directamente en la unidad de control, empalmado por un tubo flexible al colector de admisión, o se encuentra montado cerca del colector, o está fijado directamente en él.

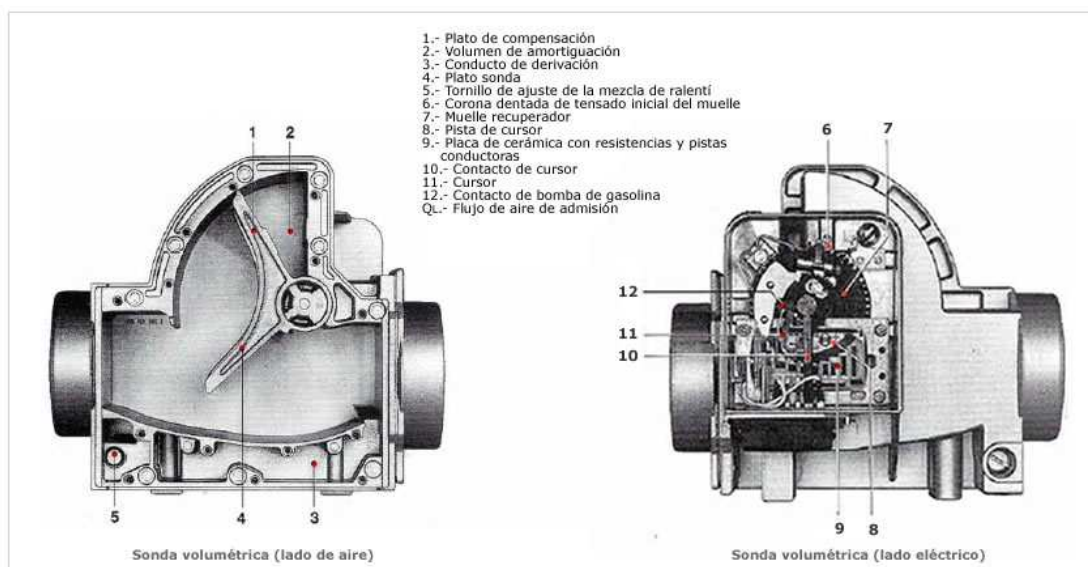


Figura 7.4:Esquema sección sonda volumétrica

En la figura inferior puede verse un esquema que muestra la constitución eléctrica interna de un potenciómetro. La rampa intercalada con respecto a la posición del cursor, la serie de resistencias que van de R1 a R12, de alto valor óhmico.

La corriente de la batería mantiene una tensión (UB) entre el borne de entrada y el de salida. La corriente atraviesa las resistencias R14 y R13 y por el borne (B) se pone en contacto con el cursor.

En la posición indicada en la figura la corriente solo ha de atravesar la resistencia R1 por lo que su señal de salida hacia la unidad de control tiene un valor de tensión alto. A medida que el cursor se desplaza hacia la izquierda entran en juego mayor número de resistencias y ello hace que la tensión de salida ( $U_A$ ) sea cada vez mas baja.

En el esquema se ve también una termistancia que controla la temperatura del aire, dato que afecta a su densidad. El valor óhmico de la termistancia al variar con la temperatura influye en valor total de la tensión de salida ( $U_A$ ) que se envía a la unidad de control.

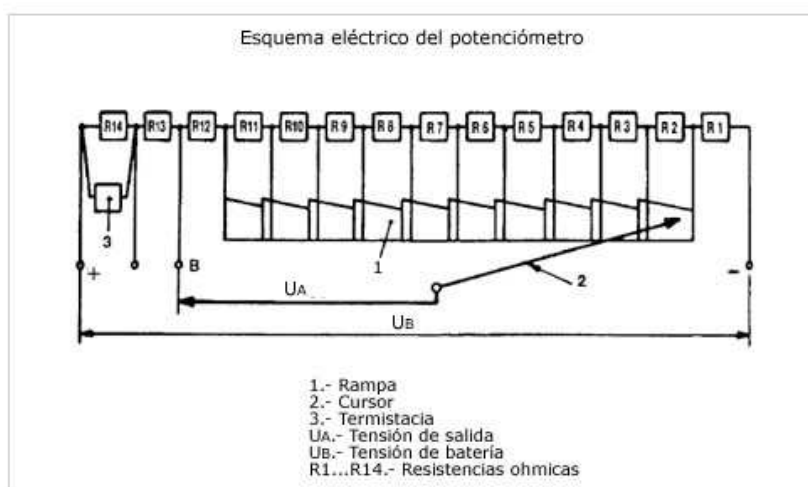


Figura 7.5:Esquema del potenciómetro de la sonda volumétrica de plato.

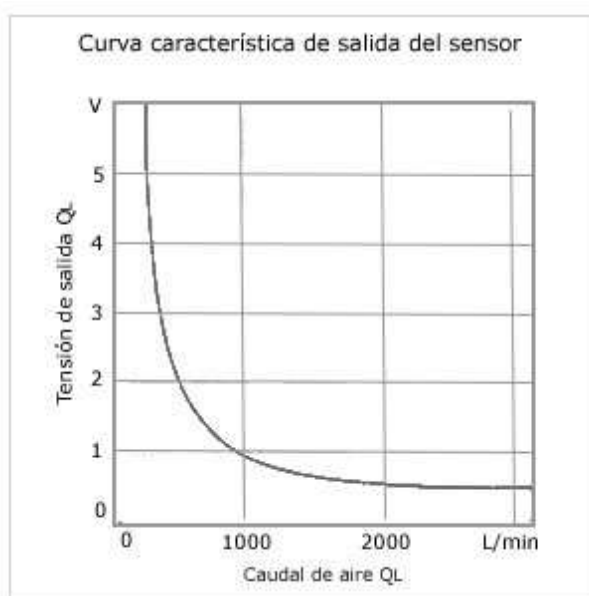


Figura 7.6:Grafica que muestra la función de transferencia del sensor volumétrico.

### 7.3.2. Medidor de masa de aire por hilo caliente HLM

#### Aplicación

El medidor de masa de aire por hilo caliente HLM se encuentra en determinados motores de gasolina equipados con un sistema de inyección LH-Jetronic o M-Motronic. Está montado como sensor de carga térmico entre el filtro de aire y la mariposa. Detecta el flujo másico de aire QM para determinar la carga del motor.

El HLM es el medidor de caudal de aire más rápido de los que se encuentran en funcionamiento, pues es capaz de seguir oscilaciones del promedio de hasta 1 KHz.

#### Estructura

El HLM consiste en un cuerpo tubular protegido en cada extremo por una rejilla y a través del cual circula el flujo de aire de admisión. La rejilla protectora además de filtrar el aire, lo conduce en régimen laminar para evitar turbulencias dentro del medidor.

Un delgado hilo calefactable de 70  $\mu\text{m}$ , de platino, está tendido en forma de trapecio sobre toda la sección de este tubo de medición y detecta así, toda la sección de flujo. Delante de él, una resistencia compensadora de temperatura, realizada en tecnología de capas delgadas, penetra en el flujo de aire.

Los dos componentes forman parte de un circuito de regulación y ejercen la función de resistencias dependientes de la temperatura.

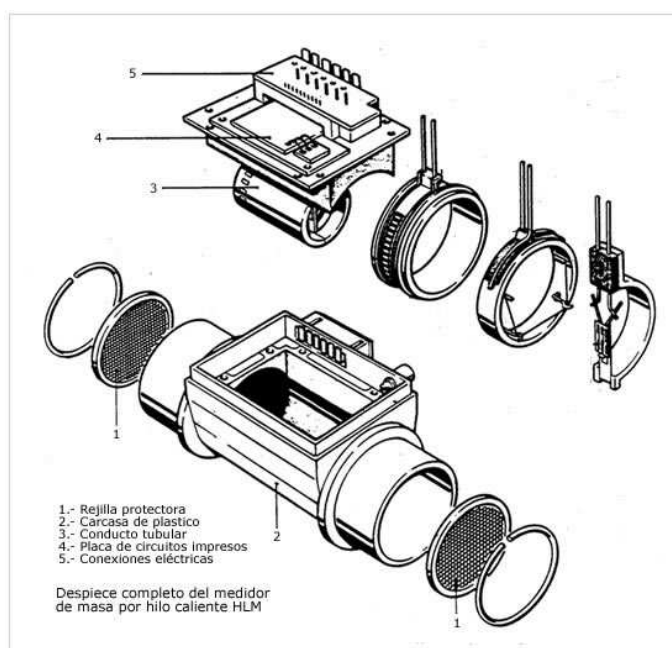


Figura 7.7: Esquema de despiece del medidor de masa de aire por hilo caliente.

## Funcionamiento

La resistencia de compensación mide primero la temperatura del aire de admisión entrante, que enfría a continuación el hilo calefaccionado. Un circuito de regulación reajusta la corriente de calefacción de tal manera que el hilo caliente adopta una temperatura constante superior a la del aire de admisión.

Este principio de medición tiene en cuenta la masa volúmica del aire en las proporciones correctas, puesto que ella determina el nivel de cesión de calor del hilo caliente al aire.

La corriente de calefacción representa una medida del flujo de masa de aire y genera en una resistencia de precisión una señal de tensión UM que es proporcional al flujo de masa de aire y se transmite a la unidad de control.

El medidor de masa de aire HLM no puede reconocer, sin embargo, el sentido del flujo.

A fin de evitar una deriva de los resultados de medición a causa de depósitos de suciedad en el hilo de platino, éste es llevado por un segundo a una alta temperatura de autolimpieza de unos  $1000^{\circ}\text{C}$  después de cada parada del motor. El hilo se limpia entonces por evaporación y desprendimiento de la suciedad depositada.

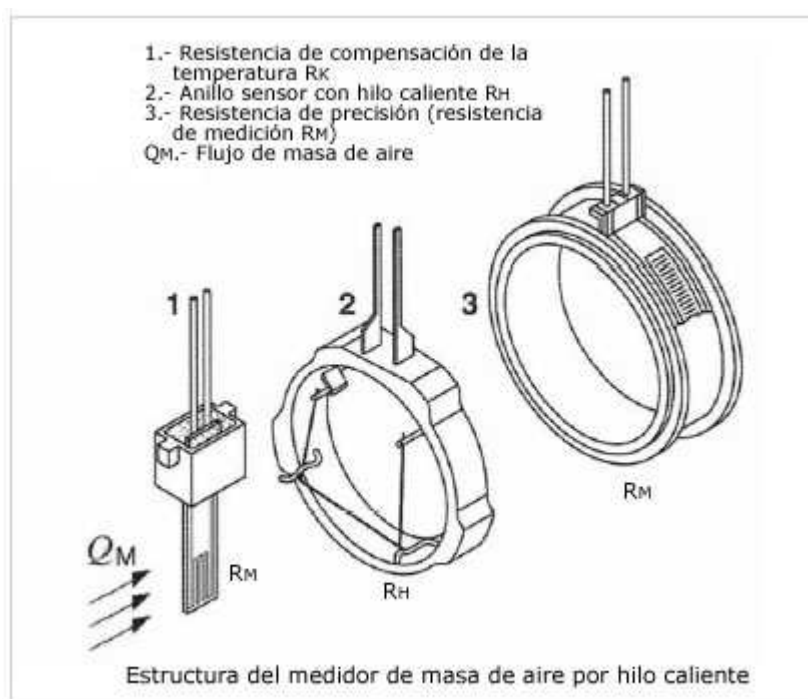


Figura 7.8:Despiece del medidor de masa de aire por hilo caliente.



Figura 7.9: Fotografía de un cuerpo tubular con hilo de platino calefactable.

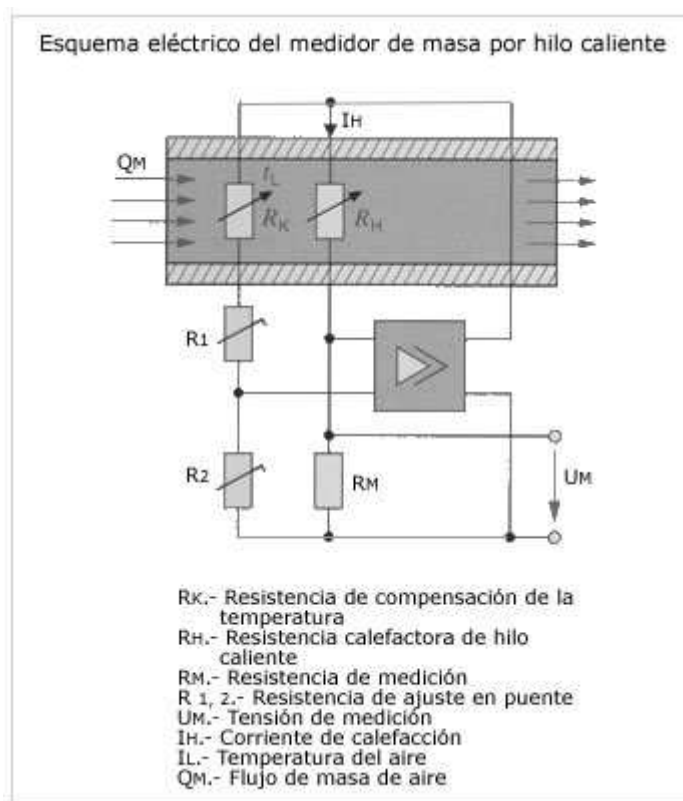


Figura 7.10: Esquema eléctrico del medidor de masa de aire por hilo caliente.

El circuito de regulación se compone esencialmente de un circuito en puente y de un amplificador.

### 7.3.3. Medidor de masa de aire de película caliente HFM5

#### Aplicación

Una combustión óptima dentro de los valores límite establecidos por la ley para los gases de escape presupone que se suministre la masa de aire precisa que necesita el motor en el respectivo estado de servicio.

Con este objeto el medidor de masa de aire de película caliente mide con gran exactitud una parte de la corriente de masa de aire que realmente circula por el filtro de aire o el conducto de medición. Tiene también en cuenta las pulsaciones y reflujos causados por la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

Las modificaciones de la temperatura del aire aspirado no tienen ninguna influencia en la exactitud de medición.

#### Estructura

El medidor de masa de aire de película caliente HFM5 está introducido en un conducto de medición, que puede tener diferente diámetro según la masa de aire necesaria para el motor (para 370... 970 Kg. /h).

El conducto de medición está montado detrás del filtro de aire en el tramo de admisión. Hay también sensores de clavija montados en el filtro de aire.

Las partes esenciales del sensor son una célula de medición bañada por la corriente de aire parcial en la entrada de aire de admisión, y un sistema electrónico evaluador integrado.

Los elementos de la célula de medición están metalizados por evaporación sobre un sustrato semiconductor, y los elementos del sistema electrónico evaluador sobre un sustrato cerámico. De este modo es posible un tamaño muy pequeño.

El sistema electrónico evaluador comunica a su vez con la unidad de control a través de conexiones eléctricas.

El canal de medición de la corriente parcial (bypass) está conformado de manera que el aire puede fluir sin remolinos por delante de la célula y refluir por la salida hacia el conducto de medición. De ese modo se mejora el comportamiento del sensor en caso de corrientes de fuerte pulsación, corrientes en sentido directo, y reflujos.



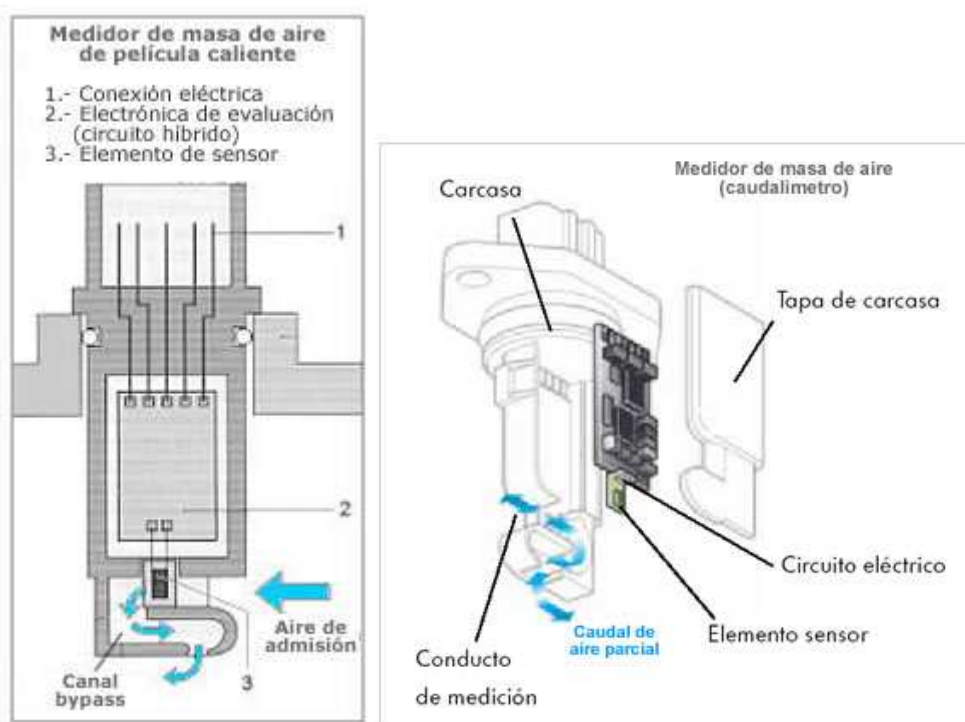


Figura 7.11 y 7.12: Esquema de medidor de masa de aire por película caliente.

## Funcionamiento

El medidor de masa de aire de película caliente es un sensor térmico que trabaja según el siguiente principio:

Una resistencia calefactor dispuesta en el centro sobre la célula de medición calienta una membrana sensible micromecánica y la mantiene a una temperatura constante. Fuera de esta zona de calefacción regulada, disminuye la temperatura a ambos lados.

Dos resistencias dependientes de la temperatura montadas simétricamente respecto a la resistencia calefactor encargadas de medir el flujo arriba y el flujo abajo sobre la membrana detectan la distribución de la temperatura sobre ésta.

Cuando no pasa aire, el perfil de temperaturas es igual en ambos lados.

Cuando pasa aire por encima de la célula de medición, el perfil uniforme de temperaturas sobre la membrana sufre un cambio.

En el lado de aspiración la variación de la temperatura es más pronunciada, pues la corriente de aire enfría esta parte. En el lado opuesto, orientado hacia el motor, se enfría primero la célula de medición del sensor. Luego, el aire calentado por el elemento de calefacción, caldea la célula de medición.



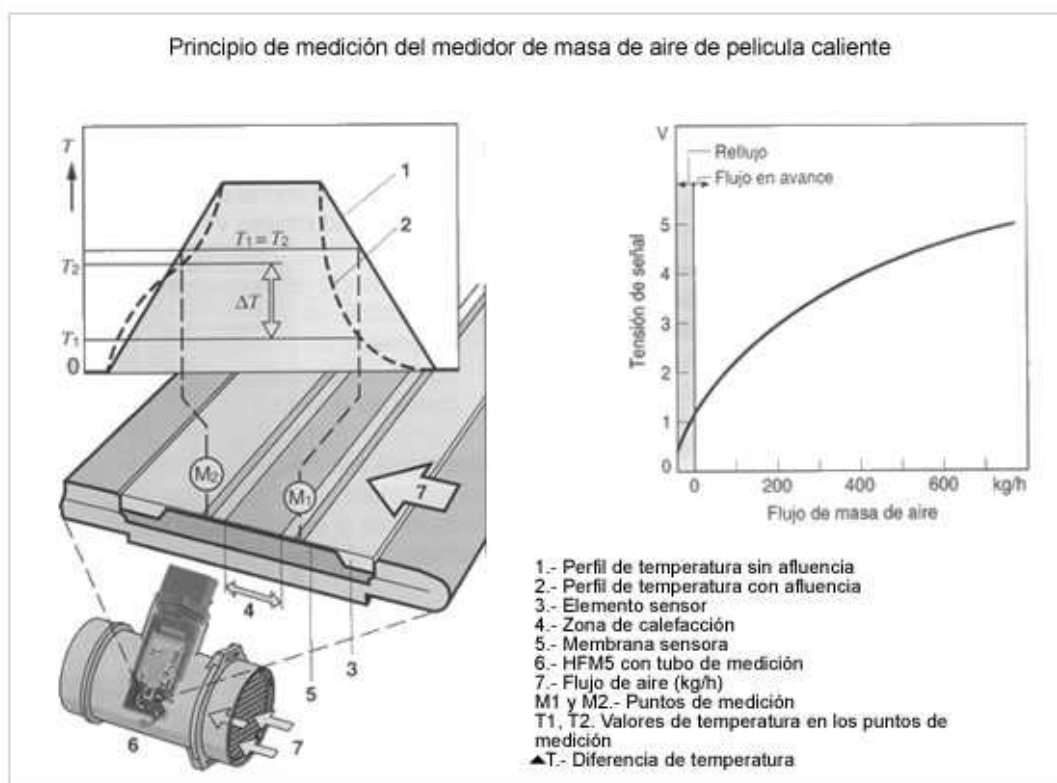


Figura 7.13: Funcionamiento de sensor de masa de aire caliente por película.

La variación de la distribución de temperaturas ocasiona una diferencia de temperatura entre los puntos de medición M1 y M2.

El calor cedido al aire, y con ello la caída de temperatura en la célula de medición del sensor, depende de la masa de aire que pasa por delante de ella.

La diferencia de temperatura constituye una medida para la masa de la corriente de aire; además depende de la dirección, de manera que el medidor de masa de aire puede detectar tanto la cantidad como el sentido de una corriente de masa de aire.

Por ser la membrana micromecánica sumamente fina, el sensor reacciona muy rápidamente a las variaciones ( $< 15\text{ms}$ ). Esto es importante, especialmente con corrientes de aire de fuerte pulsación. La diferencia de resistencia en los puntos de medición M1 y M2 es convertida en una señal de tensión analógica entre 0...5 V, adecuada a la unidad de control.

Con la ayuda de la curva característica del sensor almacenada en la unidad de control, la tensión medida es convertida en un valor para la corriente de masa de aire [Kg. /h]. La curva característica está conformada de manera que la diagnosis integrada en la unidad de control puede identificar defectos como una interrupción de línea.

En el medidor de masa de aire de película caliente HFM5 puede haber integrado un sensor de temperatura para evaluaciones adicionales. Este sensor se encuentra sobre la célula de medición, delante de la zona caliente.

Para ciertas aplicaciones en algunos vehículos se toman medidas adicionales contra el agua y la suciedad.

### Captadores de presión absoluta

Otra forma de medir el aire de admisión que entra al motor es mediante captadores de presión absoluta. El captador o sensor de presión proporciona una señal eléctrica a la unidad de control (ECU) en función de la depresión que existe en el colector de admisión del motor.

Como ejemplos vamos a ver los sensores utilizados en los sistemas de inyección Renix de Renault y D-Jetronic de Bosch.

#### Sistema de inyección Renix de Renault

El sistema de inyección de gasolina de Renix de Renault utiliza un sensor de presión absoluta que permite junto con el valor de temperatura de aire saber el peso del aire que entra en el colector de admisión y así poder establecer con exactitud la cantidad de gasolina a inyectar para conseguir una determinada relación de mezcla.

El captador esta constituido por un diafragma realizado en material aislante dentro del cual están emplazadas unas resistencias que forman un puente de medida.

El puente de resistencias esta formado por sensores piezoeléctricos que son sensibles a las deformaciones mecánicas.

El diafragma esta unido mediante un tubo al colector de admisión de manera que las variaciones de presión actúan directamente sobre el diafragma provocando su deformación. Esta deformación actúa sobre el puente de resistencias variando la tensión de salida. La tensión de salida del puente es ajustada a las escalas de trabajo deseadas de manera que se obtiene una tensión final de salida comprendida entre 0 y 5 V, siguiendo de manera lineal las variaciones de presión.

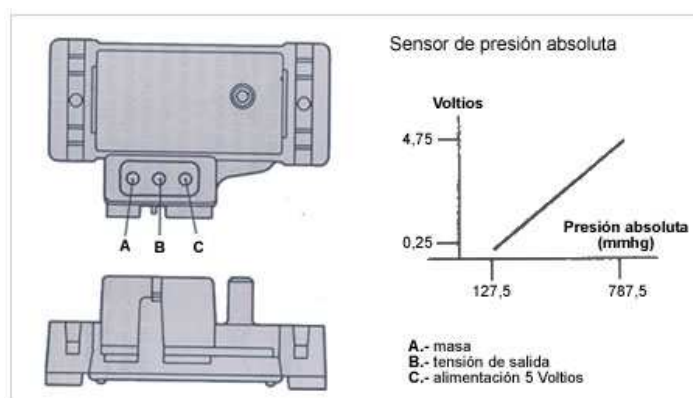


Figura 7.14: Esquema del sistema de inyección Renix de Renault.

### Sistema de inyección D-Jetronic de Bosch

Este sensor proporciona una señal eléctrica a la unidad de control (ECU) en función de la depresión que existe en el colector de admisión del motor.

Para cargas parciales cuando la presión en el colector de admisión es mayor que la presión atmosférica, el diafragma es presionado contra el tope de carga parcial, en este caso solo los elementos de diafragma actúan sobre el diafragma haciendo que la armadura adopte una posición relativa con respecto a la bobina que generara una determinada tensión que informara a la unidad de control de la presión en el colector de admisión.

Para plenas cargas, la presión en el colector de admisión es igual a la presión atmosférica por lo que solo actúa el muelle moviendo la armadura y haciendo que el diafragma presione contra el tope de plena carga.

El sensor de presión manda permanentemente información eléctrica a la unidad de control (ECU) del estado de depresión reinante en el colector, y la ECU es capaz de interpretar las más ligeras variaciones como diferentes estados de llenado de aire en el colector.

A una alta depresión se corresponde un pequeño volumen de aire mientras ocurre lo contrario cuando la depresión es muy pequeña. Con este dato básico la ECU elabora el tiempo básico de inyección, que después será corregido por la aportación de datos procedentes de otros sensores.

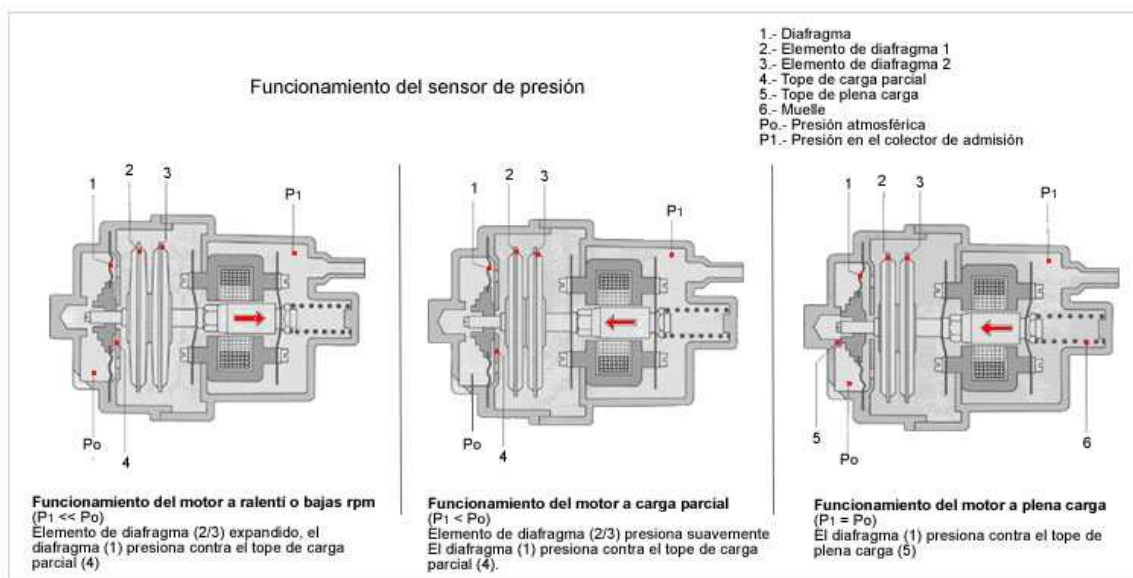


Figura 7.15: Sensor de presión del sistema de inyección D-Jetronic de Bosch.

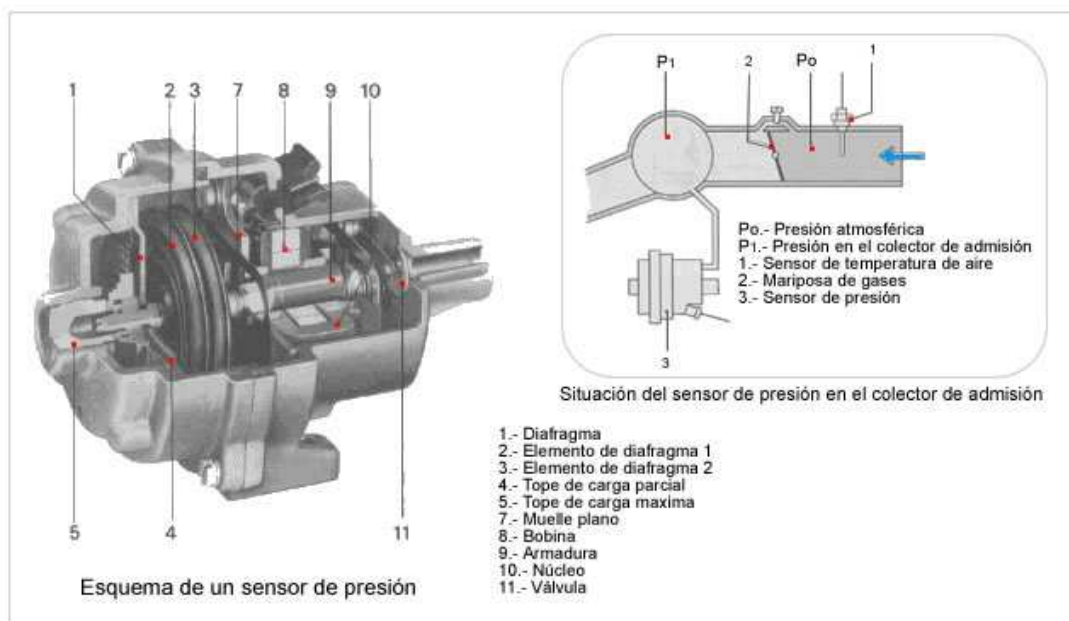


Figura 7.16:Esquema de sensor de presión absoluta.

También hay sensores de presión que tienen en cuenta la altitud para dosificar la mezcla en función de esta, teniendo en cuenta que a mayor altitud la presión atmosférica disminuye.

La presión atmosférica se utiliza para determinar la densidad del aire a diferentes altitudes. Como el motor requiere menos carburante a altitudes elevadas, el sensor transmite una señal a la ECU para reducir el tiempo de apertura de los inyectores.

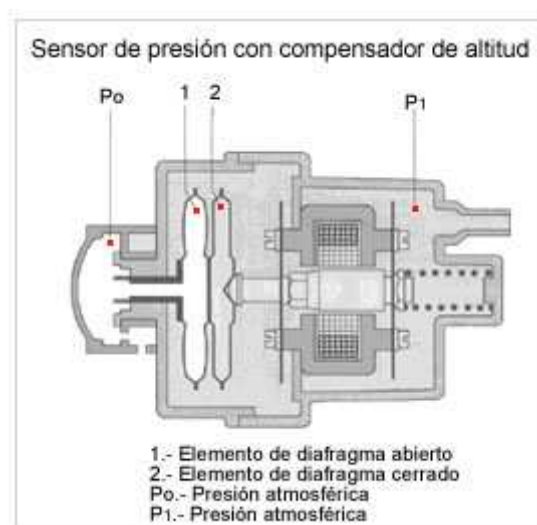


Figura 7.17:Esquema de sensor de presión absoluta con compensador de altitud.

## 8. SENSORES DE TEMPERATURA

### 8.1. Descripción general

Existen sensores de temperatura de distintas formas constructivas, según su campo de aplicación. Dentro de un cuerpo hay montada una resistencia termosensible de medición, de material semiconductor.

Normalmente tiene ella un coeficiente de temperatura negativo (NTC), raramente un coeficiente de temperatura positivo (PTC), es decir, que su resistencia disminuye o aumenta drásticamente al subir la temperatura.

La resistencia de medición forma parte de un circuito divisor de tensión alimentado con 5 V. La tensión que se mide en la resistencia depende, por tanto, de la temperatura. Ésta se lee a través de un convertidor analógico-digital y es una medida de la temperatura del sensor.

La unidad de control del motor tiene almacenada una curva característica que indica la temperatura correspondiente a cada valor de resistencia o tensión de salida.

### 8.2. Principios de medición

La temperaturas de gases o líquidos puede medirse en general sin problemas en cualquier punto local, sin embargo la medición de la temperatura de cuerpos sólidos se limita casi siempre a la superficie.

La mayoría de sensores de temperatura utilizados necesitan un estrecho contacto directo del elemento sensible con el medio en cuestión, para tomar con la máxima precisión la temperatura del medio.

Ciertos casos especiales requieren, sin embargo, la aplicación de sensores sin contacto, que determinan la temperatura de un cuerpo o medio en virtud de su radiación térmica.

La medición de la temperatura en el automóvil se efectúa de modo casi exclusivo mediante termómetros de contacto constituidos por materiales resistivos de coeficiente de temperatura positivo (PTC) o negativo (NTC), aprovechando su dependencia de la temperatura.

La conversión de la resistencia eléctrica en una tensión analógica se realiza casi siempre mediante el complemento de una resistencia térmicamente neutra o de sentido opuesto, formando un divisor de tensión.

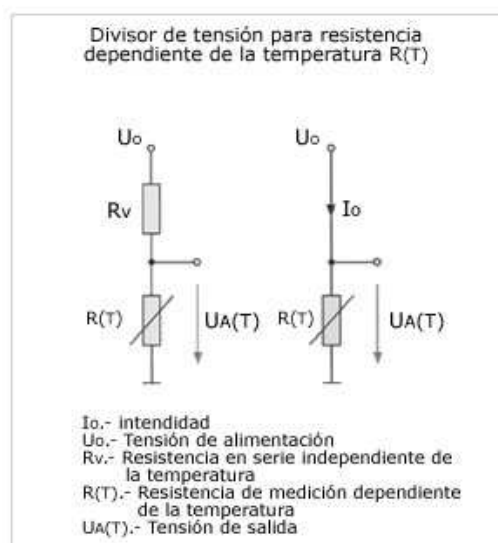


Figura 8.1:Circuito divisor de tensión.

Magnitudes de medición	
Punto de medición	magnitud en °C
Aire de admisión / sobrealimentación	- 40.....170
Aire ambiente	- 40.....60
Habitáculo	- 20.....80
Ventilación / calefacción	- 20.....60
Evaporador (acondicionador de aire)	- 10.....50
Agua refrigerante	- 40.....130
Aceite motor	- 40.....170
Batería	- 40.....100
Combustible	- 40.....120
Aire de los neumáticos	- 40.....120
Gases de escape	100.....1000
Pinza de freno	- 40.....2000

Figura 8.2: tabla con mediciones de temperatura que se efectúan en el automóvil.

Los campos de medición en parte muy distintos exigen un gran número de conceptos y tecnologías de sensores, así como los requerimientos de precisión y de dinámica no mencionados aquí implican formas de sensores muy diversas.

En muchos puntos se mide la temperatura como magnitud auxiliar, para excluir sus efectos negativos o compensar sus influencias no deseadas

### 8.3. Tipos de sensores

#### 8.3.1. Sensor de temperatura del moto

Este sensor está montado en el circuito del líquido refrigerante (figura 1), con el fin de determinar la temperatura del motor a partir de la temperatura del refrigerante (campo de medición - 40...+130° C).

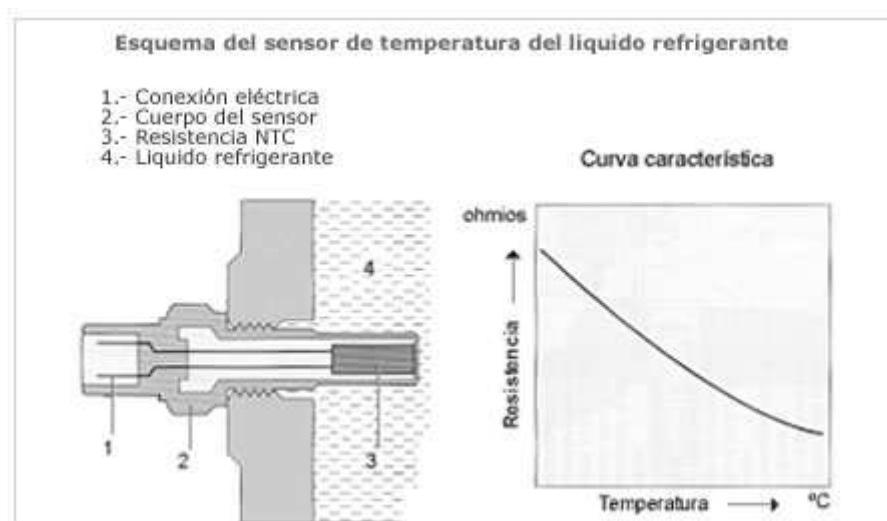


Figura 8.3: Función de transferencia sensor temperatura del refrigerante.

#### 8.3.2. Sensor de temperatura del aceite de motor

La señal del sensor de temperatura del aceite de motor se emplea para calcular los intervalos de servicio (campo de medición - 40... +170° C).

#### 8.3.3. Sensor de temperatura de los gases de escape

Este sensor se monta en puntos térmicamente críticos del sistema de escape. Se emplea también para regular sistemas de tratamiento ulterior de los gases de escape. La resistencia de medición es generalmente de platino (campo de medición -40...+1000° C).



### 8.3.4. Sensor de temperatura del refrigerante

#### Aplicación

Como el motor de combustión interna no se mantiene en el mismo valor de temperatura desde el inicio de funcionamiento, ya que se incrementa, las condiciones de funcionamiento también variarán notablemente, especialmente cuando la temperatura es muy baja, debiendo vencer las resistencia de sus partes móviles; adicionalmente un buen porcentaje del combustible inyectado es desperdiciado en las paredes del múltiple de admisión, del cilindro y debido a la mala combustión, por lo que requerimos inyectar una cantidad adicional de combustible en frío y reducir paulatinamente este caudal hasta llegar al ideal en la temperatura óptima de funcionamiento.

#### Estructura y funcionamiento

Esta señal informa a la centralita la temperatura del refrigerante del motor, para que este pueda enriquecer automáticamente la mezcla aire - combustible cuando el motor está frío y la empobrezca paulatinamente en el incremento de la temperatura, hasta llegar a la temperatura ideal de trabajo, momento en el cual se mantiene la mezcla ideal.

Para ello se utiliza una resistencia NTC (Negative Temperature Coeficient), que como su nombre indica, es una resistencia de coeficiente negativo de temperatura.

Esto quiere decir que la resistencia del sensor irá disminuyendo con el incremento de la temperatura medida, o lo que es lo mismo, que su conductibilidad irá aumentando con el incremento de temperatura, ya que cuando está frío el sensor, su conductibilidad es mala y aumenta con el incremento de temperatura.

El sensor está encapsulado en un cuerpo de bronce, para que pueda resistir los agentes químicos del refrigerante y tenga además una buena conductibilidad térmica.

Está localizado generalmente cerca del termostato del motor, lugar que adquiere el valor máximo de temperatura de trabajo y entrega rápidamente los cambios que se producen en el refrigerante. En su parte anterior tiene un conector con dos pines eléctricos, aislados del cuerpo metálico.

Dependiendo del sistema, existen dos posibilidades de señal que puede entregar el sensor de temperatura:

#### Alimentación Positiva

El sensor recibe en uno de sus pines una alimentación de 5 voltios de referencia, tensión eléctrica que es enviada a la centralita. Una tensión ascendente da información de que la resistencia se está calentando, momento en el cual le entrega una tensión mayor, pudiendo llegar cerca de los 5 voltios de alimentación.

Esta señal se envía por el segundo pin del sensor hacia el computador, el cual identifica esta tensión variable en temperatura medida del refrigerante, entregando a los inyectores una cantidad de combustible ideal en cada etapa de calentamiento.

### Alimentación Negativa

Como en el primer caso, en otros sistemas se utiliza una alimentación negativa lo que significa que el primer pin del sensor tiene una conexión de tierra o masa.

Cuando el sensor esta frío, la alta resistencia interior permite enviar una señal negativa muy pequeña por el segundo pin, dirigida a la centralita, pero seguirá incrementándose acorde al aumento de temperatura del motor.

Como se podrá notar, el tipo de señal que se envía a la centralita solamente dependerá del tipo de alimentación que se le entregue al sensor, el cual se encarga de enviar una señal variable de esta alimentación, progresiva con el aumento de temperatura.

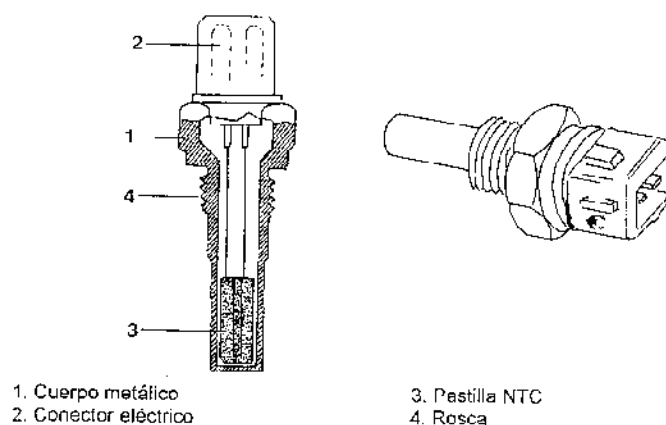


Figura 8.4: Esquema de sensor de temperatura NTC.



Figura 8.5:Fotografía sensor de temperatura NTC para líquidos.

Adicionalmente podemos decir que como el sensor se basa para su trabajo en la característica de su material, todos los sensores utilizados tendrán las características similares, con la diferencia mayor localizada en el tamaño, su diseño, la forma de la rosca y del conector, pero siempre tendrá características de medición muy similares, por no decir idénticas entre cualquier procedencia.

Es por ello que podemos asegurar, que una tabla de valores que relaciona la temperatura del sensor con la resistencia que nos entrega de nuestro ejemplo deberá coincidir en su mayor parte en todos los sistemas y marcas de inyección electrónica y algunas mecánicas con ayuda de la electrónica.

Esta señal sirve de información, como se dijo, para que el computador determine la mezcla exacta que debe inyectar, controlando a los inyectores del sistema; cuando se ha instalado un sensor en una inyección mecánica con ayuda eléctrica, también sirve para poder controlar con exactitud el caudal inyectado.

A continuación podemos observar la tabla de valores, donde se puede ver claramente que la resistencia del sensor disminuye con el incremento de la temperatura.

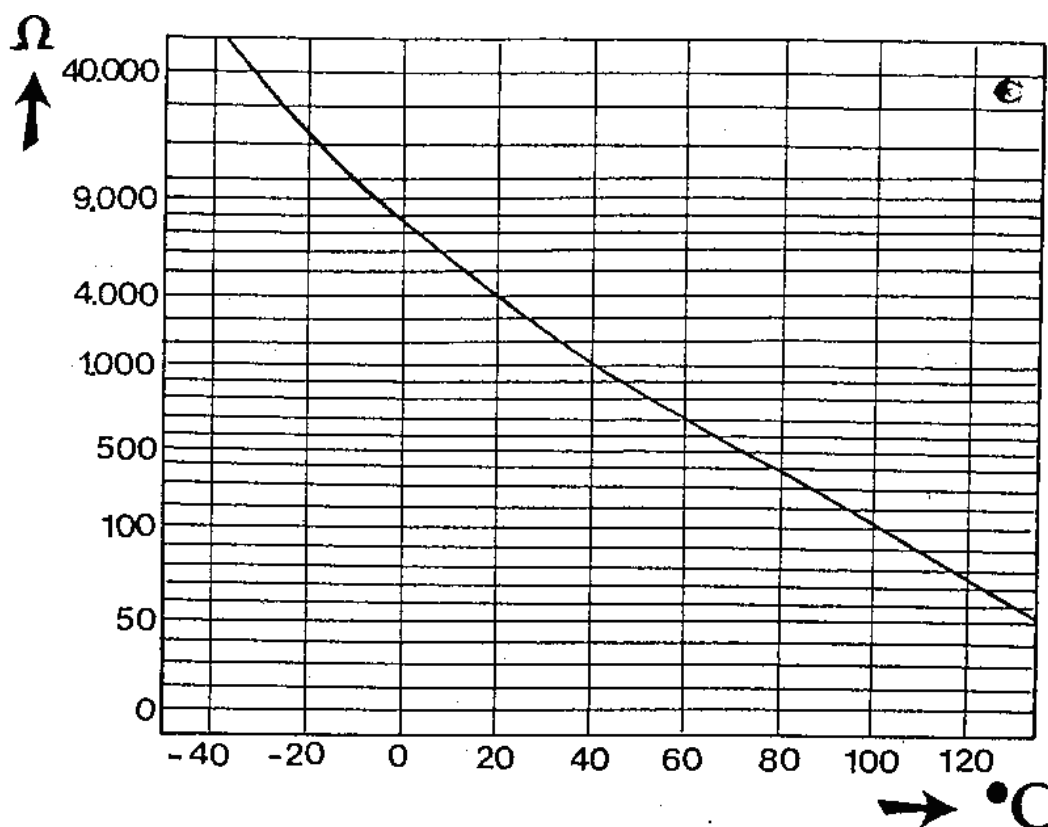


Figura 8.6: Función de transferencia de un sensor de temperatura NTC.

### 8.3.5. Sensor de temperatura del aire aspirado

#### Aplicación

Al igual que el sensor de temperatura del refrigerante, el sensor de temperatura del aire que aspira el motor, es un parámetro muy importante de información que debe recibir la centralita, información que generalmente se la toma conjuntamente con el caudal de aire de ingreso.

Estas dos informaciones le dan a la centralita una idea exacta de la masa o densidad del aire que ingresa al motor y con ello se puede inyectar un caudal exacto de combustible, para que la mezcla esté en su medida ideal.

Cuando la centralita solamente recibe la cantidad de aire como información, las moléculas del mismo podrían estar muy condensadas en el caso que el aire de entrada este frío, por lo tanto se tendrá un número mayor de moléculas de aire que se mezclen con la cantidad de moléculas del combustible inyectado; en cambio, si el aire está muy caliente, el número de moléculas será mucho menor en el mismo volumen aspirado, mezclándose con la misma cantidad de moléculas de combustible que se inyecta, empobreciéndose la mezcla que ingresa a los cilindros del motor.

Por estas razones, la información de la cantidad o volumen del aire aspirado, mas la temperatura del mismo, identifican exactamente a una masa o densidad, que significa una medición exacta de la cantidad de moléculas del aire.

#### Estructura y funcionamiento

El sensor de temperatura del aire está localizado convenientemente, de tal manera que el flujo de aire ingresado sea detectado rápidamente al chocar con él y pueda detectar rápidamente cualquier variación en la temperatura.

Generalmente está localizado en el depurador, en la tubuladura posterior al depurador o en el mismo múltiple de admisión. Su estructura es similar a la del sensor de temperatura del refrigerante, pero el encapsulado es más fino, pudiendo ser plástico o la pastilla NTC está solamente protegida por un sencillo enrejado, el cual permita al aire chocar directamente sobre el sensor.

1. Cuerpo metálico
2. Cuerpo plástico
3. Pastilla NTC
4. Contactos eléctricos

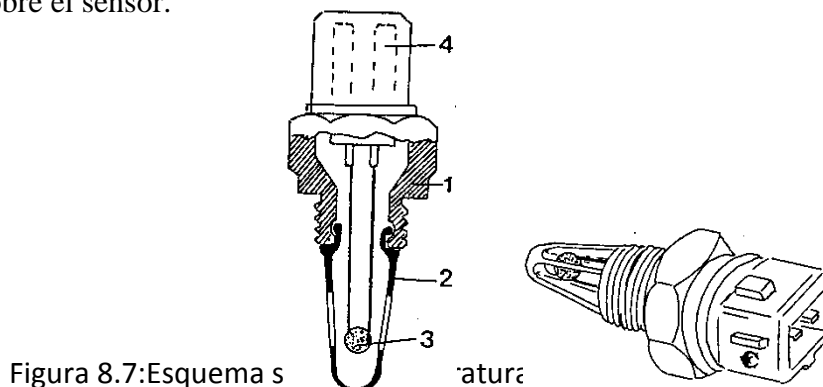


Figura 8.7: Esquema s

atura



Figura 8.8:Fotografía de sensor de temperatura NTC para aire.

#### 8.3.6. Sensor de temperatura del combustible

En algunos sistemas de inyección electrónica se ha tomado como otro parámetro importante la medición de la temperatura del combustible, debido a que, como el sensor de temperatura del aire, la variación de la temperatura del combustible modificaría la cantidad de moléculas inyectadas, variando de esta forma la mezcla aire-combustible.

Entenderemos mejor esto, diciendo que el combustible tiene una mayor concentración de moléculas cuando está frío y menor cuando está caliente, similar al caso explicado del sensor de temperatura de aire, ya que las moléculas de un gas o de un líquido, dentro de un mismo volumen, varían en cantidad de acuerdo a su temperatura.

## 9. SENSORES DE GAS, SONDAS DE CONCENTRACIÓN

### 9.1. Descripción general

En los primeros sistemas de inyección, tanto mecánicos como electrónicos, se habían tomado como exactas las regulaciones de cada sistema, pero algunos factores pueden variar la calidad de la combustión, la cual no permite al motor entregar su mejor potencia y obligan adicionalmente a que esta mala combustión genere una emisión de gases contaminantes al ambiente.

Con estas malas experiencias, los sistemas fueron diseñándose de mejor manera, pero a pesar de ello la calidad de la combustión seguía dependiendo de otros factores, inclusive mecánicos, que afectaban en un buen porcentaje esta exactitud de los componentes electrónicos.

Es por eso que, con el descubrimiento del análisis de los gases de escape, se llegó a determinar la importancia y la relación de estos gases combustionados con la exactitud en el sistema de inyección. Este elemento que analiza los gases de escape es el sensor de oxígeno, llamado también sonda lambda.

El sensor de Oxígeno no es más que un sensor que detecta la presencia de mayor o menor cantidad de este gas en los gases combustionados, de tal manera que cualquier variación en el número de moléculas calculadas como perfectas o tomadas como referenciales, será un indicador de malfuncionamiento y por lo tanto de falta o exceso de combustible en la combustión.

Este sensor trabaja como un juez del sistema, ya que todo el tiempo está revisando la calidad de la combustión, tomando como referencia al oxígeno que encuentra en los gases quemados, informando a la centralita, para que corrija la falta o el exceso de combustible inyectado, logrando la mezcla aire-combustible ideal.

Este sensor está constituido de una cerámica porosa de Bióxido de circonio y de dos contactores de platino, alojados dentro de un cuerpo metálico. Un contactor está conectado al cuerpo, mientras que el segundo es el contacto aislado, el cual entregará la señal de salida hacia la centralita. El sensor está a su vez localizado convenientemente en la salida del múltiple de escape del motor, lugar en el cual puede medir la variación de la combustión del mismo.

Entre los dos contactos se genera una tensión eléctrica de aproximadamente 1 Voltio, cuando la cantidad de oxígeno es abundante, que significa que la combustión posee mucho combustible. En cambio la generación de esta tensión eléctrica será menor si la cantidad de combustible inyectado es muy pobre. Por lo tanto durante el funcionamiento del motor se tendrán valores de generación entre décimas de voltio hasta aproximadamente 1 Voltio, dependiendo de la presencia del Oxígeno en los gases combustionados.

Como la centralita está recibiendo esta información permanentemente, puede en cuestión de milésimas de segundo modificar la cantidad de combustible que inyecta el sistema, permitiendo que el motor obtenga una gran exactitud en su combustión, que significa entonces una óptima potencia de entrega y una emisión mínima de gases contaminantes en el ambiente.

## 9.2. Principios de medición

Las sustancias a medir se presentan en estado gaseoso, líquido o sólido, habiéndose desarrollado por ello en el transcurso del tiempo un gran número de métodos de medición.

Hasta el presente para la técnica del automóvil es sólo de interés el campo del análisis de gases, con un sector especial para la medición de la humedad en forma gaseosa.

### Medición de gases en general

Los sensores de gas, que generalmente están expuestos directamente y sin protección al medio a medir, corren el riesgo de sufrir un daño irreversible. Este daño recibe también la designación de envenenamiento de la sonda.

Así, por ejemplo, el plomo eventualmente contenido en el combustible o en los gases de escape puede hacer inservibles las sondas de oxígeno (sondas lambda).

### Medición de la humedad

Junto al papel esencial que desempeña la sonda de oxígeno (sonda lambda) en lo que se refiere a los gases de escape, hay que atribuir asimismo una gran importancia a la medición de la humedad del aire. La humedad indica por extensión el contenido de agua en sustancias gaseosas, líquidas y sólidas.

### Magnitudes de medición

La concentración de una sustancia determinada indica la fracción de masa o de volumen con que está contenida en otra sustancia o en una mezcla de otras sustancias.

La propiedad principal de un sensor de concentración consiste en que es únicamente sensible a una sustancia de medición e ignora (en el caso ideal) a ser posible totalmente otras sustancias.

En realidad, cada sonda posee sin embargo una sensibilidad transversal a otras sustancias, incluso si los parámetros de medición como son la temperatura y la presión se mantienen constantes.



En el automóvil hay que medir las siguientes magnitudes:

- Contenido de oxígeno en los gases de escape (regulación de la combustión, vigilancia del catalizador).
- Humedad del aire en sistemas de freno neumáticos (vigilancia del secador de aire).
- Humedad del aire exterior (aviso de superficie helada).

### 9.3. Tipos de sensores

#### 9.3.1. Sensores de calidad del aire

##### Aplicación

Estos sensores comprueban continuamente la calidad del aire en la zona de entrada de la ventilación. Reaccionan especialmente a los componentes nocivos de los gases de escape CO (principalmente de motores de gasolina) y NOX (sobre todo de motores Diesel).



Figura 9.1: Unidad de control de una sonda Lambda.

##### Estructura y funcionamiento

Estos sensores integrados en la unidad de control de la calidad del aire, consisten en resistencias de capas gruesas que contienen óxido de estaño.

En cuanto las sustancias a medir se depositan en ellos (de modo reversible), la resistencia eléctrica de los sensores varía en parte rápida e intensamente dentro de un amplio margen.

Las resistencias de esas sondas se encuentran sobre un sustrato cerámico común, que por su parte trasera es calentado por un conductor de caldeo hasta una temperatura de funcionamiento de unos  $330^{\circ}\text{C}$ . A causa de esta alta temperatura, el sustrato está contactado sin apoyos.

La sonda de CO mide concentraciones del orden de 10 a 100ppm (partes por millón) y la sonda de NOX, del orden de 0,5 a 5ppm. Tan pronto como la concentración de gases nocivos es excesiva (en ocasiones casi 100 veces superior a la del aire limpio), la unidad de control de la calidad del aire cierra las chapaletas de aire fresco de ventilación del habitáculo del vehículo. Impide así que el conductor respire esos gases y se canse prematuramente. Al mantener apartadas esas sustancias nocivas, se prolonga la vida útil de los filtros de carbón activo.

Una tapa metálica ofrece una protección superficial. Una membrana de teflón situada debajo para las dos cámaras del sensor deja pasar ciertamente los gases de medición, inclusive la humedad en forma de vapor, pero retiene la humedad líquida.

Si bien los gases a medir tienen que difundirse a través de la membrana de teflón, el tiempo de reacción de los sensores es de algunos milisegundos.

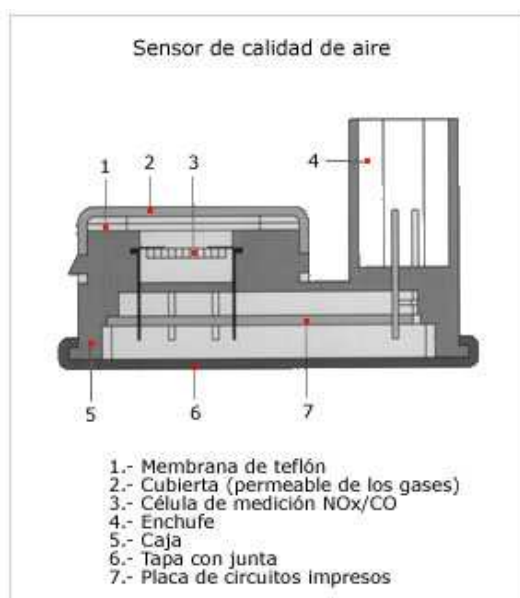


Figura 9.2: Esquema de un sensor para determinar la calidad de aire.

Las unidades de la última versión para el control de la calidad del aire poseen asimismo un sensor de humedad.

Su señal no sólo sirve para medir la temperatura del habitáculo mediante un sensor de temperatura NTC, sino también para calcular el punto de rocío, que influye en el empañamiento de los cristales del vehículo.

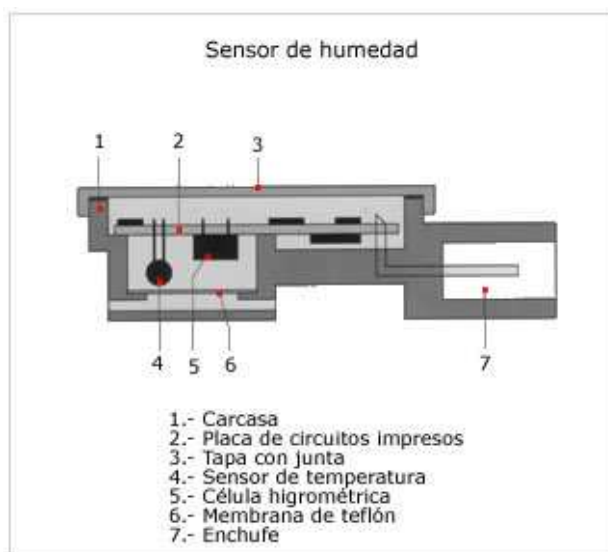


Figura 9.3:Esquema de sensor para determinar humedad.

### 9.3.2. Sondas lambda

La sonda lambda mide la concentración de oxígeno en los gases de escape. Es parte integrante de un circuito de regulación encargado de mantener continuamente la composición correcta de la mezcla de combustible y aire.

La relación de mezcla del oxígeno atmosférico respecto al combustible, con la que se consiguen máximos niveles de conversión de los contaminantes en el catalizador es de  $\lambda = 1$  (relación estequiométrica de la mezcla).



Figura 9.4:Fotografía de unas sondas Lambda de Bosch.

Hay dos modelos de sondas lambda:

- Sondas lambda de dos puntos
- Sondas lambda de banda ancha

#### 9.3.2.1.Sondas lambda de dos puntos

### Aplicación

Las sondas lambda de este tipo se utilizan en motores de gasolina dotados de una regulación lambda de dos puntos. Las sondas están situadas en el tubo de escape y detectan simultáneamente el flujo de gases de escape de todos los cilindros.

El modo de funcionar se basa en el principio de la célula galvánica de concentración de oxígeno en combinación con un electrolito sólido.

Las "sondas de dos puntos" indican si los gases de escape proceden de una mezcla rica (valor lambda < 1) o pobre (valor lambda > 1).

La curva característica de variación brusca de estas sondas permite regular la mezcla "valor lambda" = 1.

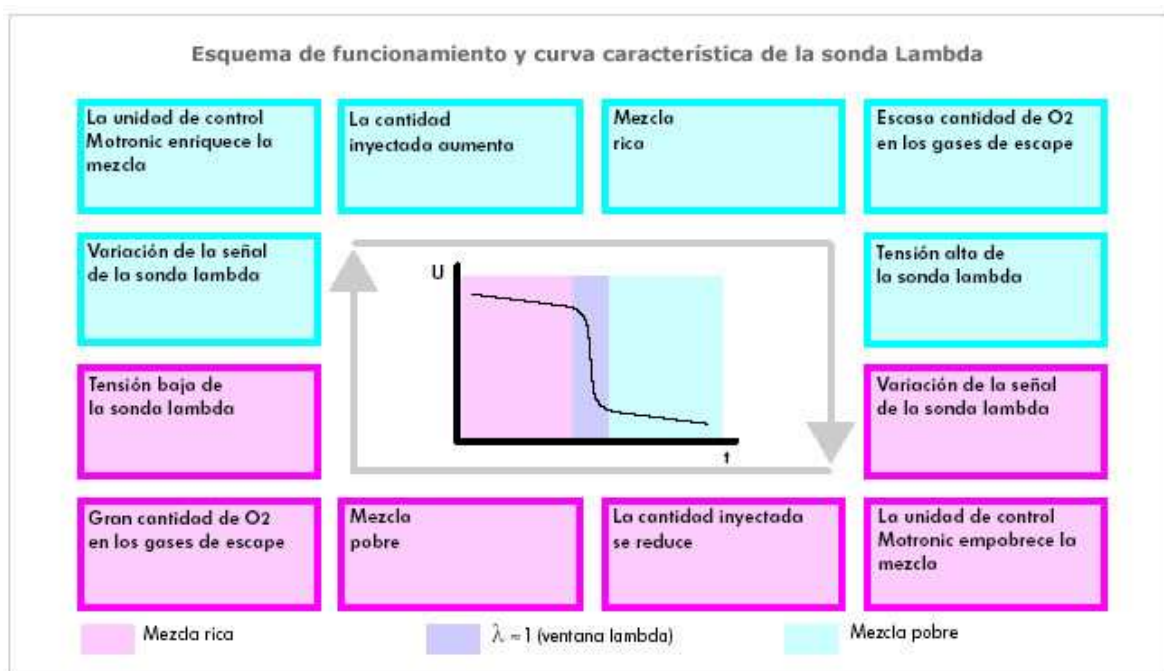


Figura 9.5:Diagrama de bloques y función de transferencia de una sonda Lambda.

## Estructura

### Sondas digitiformes (en forma de dedo)

El electrólito sólido está constituido por un cuerpo cerámico cerrado por un lado, estanco a los gases, de dióxido de circonio estabilizado con óxido de itrio.

Las superficies de la cerámica están provistas en ambos lados de electrodos realizados partiendo de una delgada capa porosa de platino.

El electrodo de platino en el lado externo, que está situado en el tubo de escape, actúa como un pequeño catalizador; los gases de escape son objeto allí de un tratamiento posterior catalítico y obtienen un equilibrio estequiométrico ( $\lambda = 1$ ). El lado expuesto a los gases de escape está recubierto adicionalmente de una capa cerámica porosa que lo protege contra la suciedad.

Un tubo metálico con varias ranuras protege el cuerpo cerámico contra esfuerzos mecánicos y choques térmicos. El espacio interno abierto, en el lado opuesto al de los gases de escape, comunica con el aire exterior, que constituye el gas de referencia.

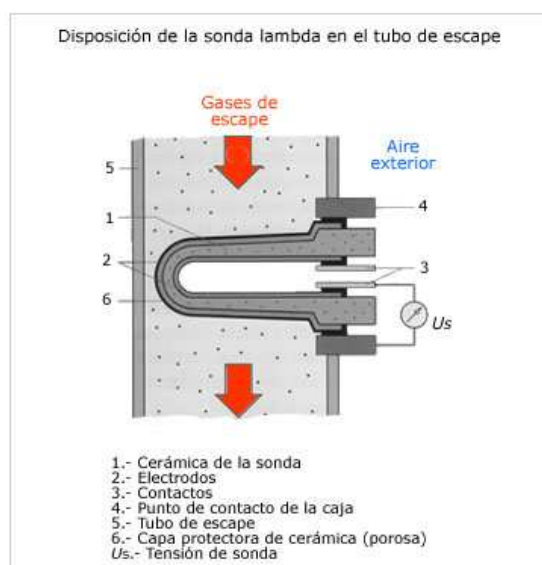


Figura 9.6:Esquema de ubicación de sonda Lambda.

### Sonda digitiforme no calefaccionada LS21

Un tubo cerámico de apoyo y un resorte de disco sostienen el elemento cerámico activo digitiforme dentro de la caja de la sonda y aseguran su estanqueidad.

Un talón de contacto entre el tubo de apoyo y la cerámica activa de la sonda constituye la unión eléctrica intermedia entre el electrodo interno y el cable de conexión.

Un anillo metálico estanco une el electrodo externo con la caja de la sonda. Un casquillo metálico de protección, que al mismo tiempo sirve de contra-apoyo al resorte de disco, sostiene y fija toda la estructura interna de la sonda. Protege también el interior de la sonda contra la suciedad.

El cable de conexión está engarzado a presión en el talón de contacto que conduce al exterior y es protegido por una caperuza estable a la temperatura contra la humedad y deterioros mecánicos.

Para que la cerámica de la sonda no esté expuesta a los residuos de combustión contenidos en los gases de escape, en el extremo sometido a éstos, la caja de la sonda está provista de un tubo de protección de forma especial. Las ranuras de este tubo están diseñadas de manera que garantizan una protección eficaz contra grandes esfuerzos térmicos y químicos.

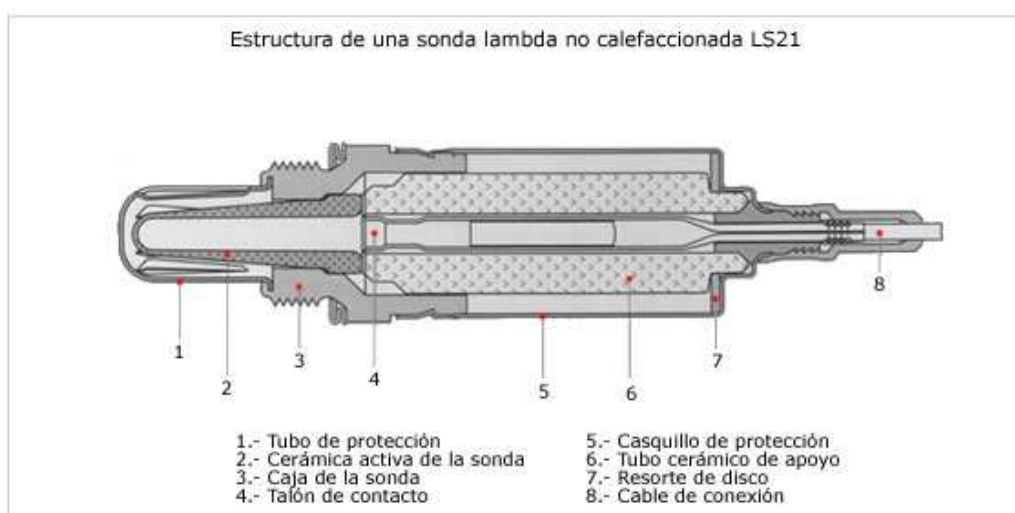


Figura 9.7: Esquema de sonda Lambda no calefaccionada.

#### Sonda digitiforme calefaccionada LSH24

La sonda lambda calefaccionada posee adicionalmente un elemento calefactor. La temperatura de la cerámica es determinada por la calefacción eléctrica cuando la carga del motor es reducida; y a alta carga, por la temperatura de los gases de escape.

La sonda lambda calefaccionada puede ser montada a una mayor distancia del motor, de manera que incluso un funcionamiento continuo a plena carga no plantea ningún problema.

La calefacción externa proporciona un rápido calentamiento de la cerámica, alcanzándose la temperatura de servicio de ésta dentro de 20 a 30 s después del arranque del motor, estando entonces disponible ya la regulación lambda.

Por tener la sonda calefaccionada una temperatura constantemente óptima de funcionamiento, se consiguen emisiones de gases de escape bajas y estables.

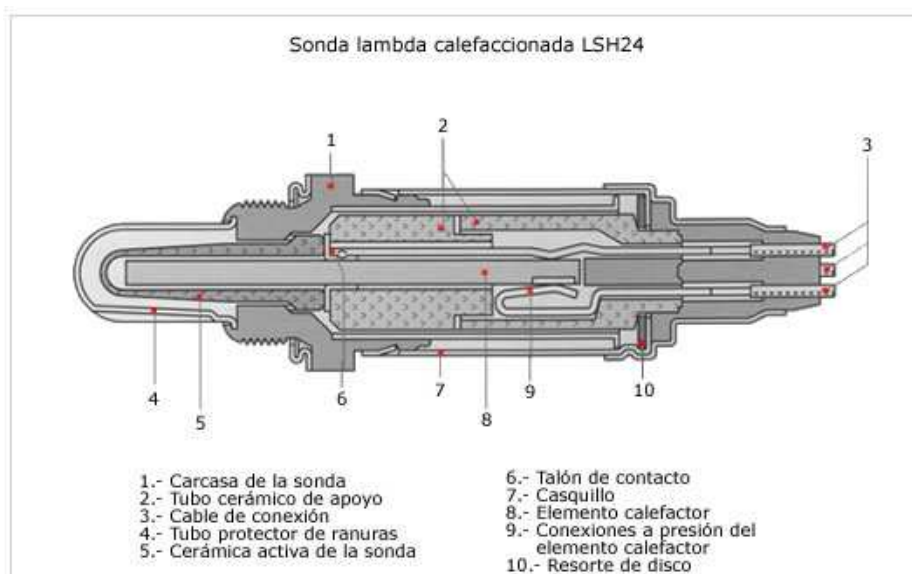


Figura 9.8: Esquema sonda Lambda calefaccionada.



Figura 9.9:Fotografía de sensores Lambda digitiformes.



### 9.3.2.2.Sondas lambda planas de banda ancha

El modo de funcionamiento de las sondas planas corresponde al de las sondas digitiformes calefaccionadas con una variación brusca de la línea característica a "valor lambda" = 1.

El electrolito sólido se compone, sin embargo, de hojas cerámicas laminadas superpuestas y un tubo de doble pared lo protege contra influencias térmicas y mecánicas.

La cerámica plana tiene la forma de una plaquita alargada de sección rectangular. La superficie de la célula de medición está provista de una capa micro porosa de metal precioso. En el lado recorrido por los gases de escape, esta capa está recubierta adicionalmente por una capa protectora de cerámica porosa, para impedir daños por efecto de erosión causada por los residuos contenidos en los gases de escape.

El calefactor está constituido por un serpentín que contiene metal precioso; está integrado, de modo aislado, en la plaquita cerámica y asegura un calentamiento rápido de la sonda.

Mientras que la cámara de referencia en el interior de la sonda LSF4 comunica con el aire ambiente, la sonda LSF8 contiene una cámara de referencia de oxígeno hermética hacia el exterior.

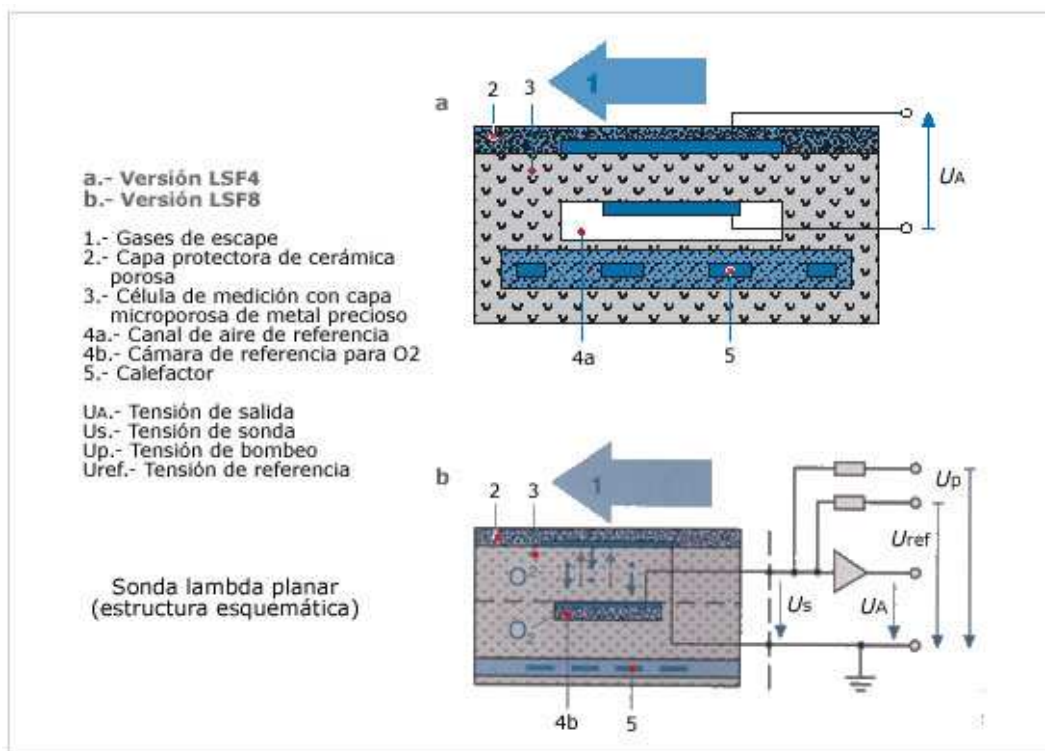


Figura 9.10:Esquema de sonda lambda plana.

### 9.3.2.3.Sonda lambda plana de banda ancha LSF8

#### Estructura y funcionamiento

La cerámica de la sonda de dos puntos, que funciona según el principio de Nernst, se vuelve conductora de los iones de oxígeno a partir de una temperatura de aproximadamente 350° C.

Como los gases de escape contienen un resto de oxígeno incluso funcionando el motor con un excedente de combustible, se produce una tensión eléctrica entre las dos superficies límite a causa del diferente porcentaje de oxígeno en cada lado de la sonda. De ese modo es posible utilizar el porcentaje de oxígeno de los gases de escape como medida de la relación de aire y combustible.

La sonda LSF8 tiene la particularidad de comparar el porcentaje de oxígeno residual de los gases de escape con el oxígeno encerrado en una cámara de referencia hermética hacia el exterior.

La aplicación de una tensión de bombeo Up a dos electrodos genera una corriente de 20μA, que bombea permanentemente oxígeno de los gases de escape, a través de la cerámica ZrO2 conductora de oxígeno, hacia la cámara de referencia, rellena de un material poroso. De la cámara de referencia se difunde también permanentemente oxígeno hacia el lado de gases de escape, en función del contenido de oxígeno que reina allí.

La tensión de la sonda en el momento resulta de este intercambio. La tensión suministrada por la sonda en función del porcentaje de oxígeno de los gases de escape alcanza 800 a 1000mV para una mezcla rica ("valor lambda" < 1), y solamente 100mV para una mezcla pobre ("valor lambda" > 1).

La transición de la zona rica a la zona pobre tiene lugar a una tensión de 450 a 500mV. La temperatura del cuerpo cerámico influye también en la conductibilidad de los iones de oxígeno y, por tanto, en el desarrollo de la tensión suministrada en función del coeficiente de aire "valor lambda". Además, el tiempo de respuesta a una variación de la tensión en caso de cambiar la composición de la mezcla depende mucho de la temperatura.

Si esos tiempos de respuesta son de algunos segundos cuando la cerámica tiene una temperatura inferior a 350° C, la sonda reacciona ya tras un tiempo inferior a 50ms al tener una temperatura óptima de funcionamiento de 600° C. Por eso está desactivada la regulación lambda después del arranque del motor hasta alcanzarse la temperatura mínima de funcionamiento de unos 350° C. El motor funciona entonces de modo controlado.

Si las temperaturas son demasiado elevadas, se acorta la vida útil. Por eso la sonda ha de estar montada de modo que no se sobrepasen los 850° C durante un largo funcionamiento a plena carga; para un corto período de tiempo se admite un límite máximo de 930° C.

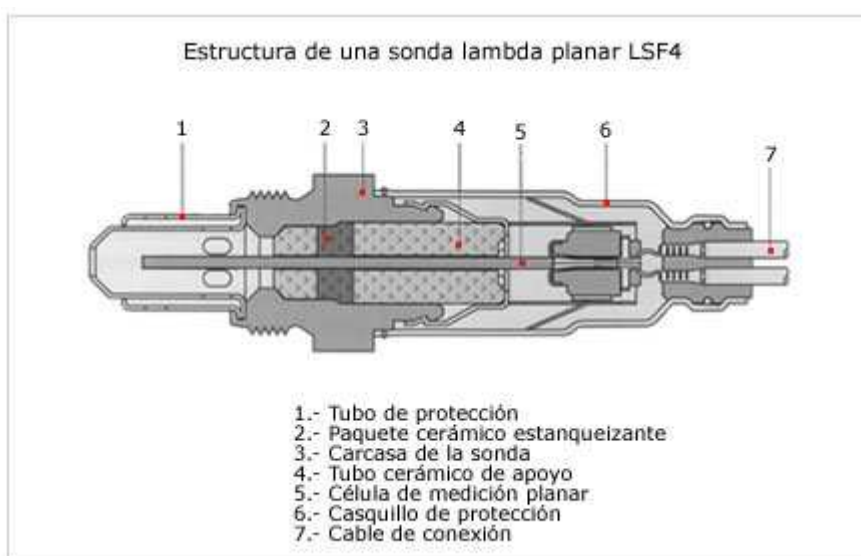


Figura 9.11:Esquema de sonda lambda plana modelo LSF4 de Bosch.

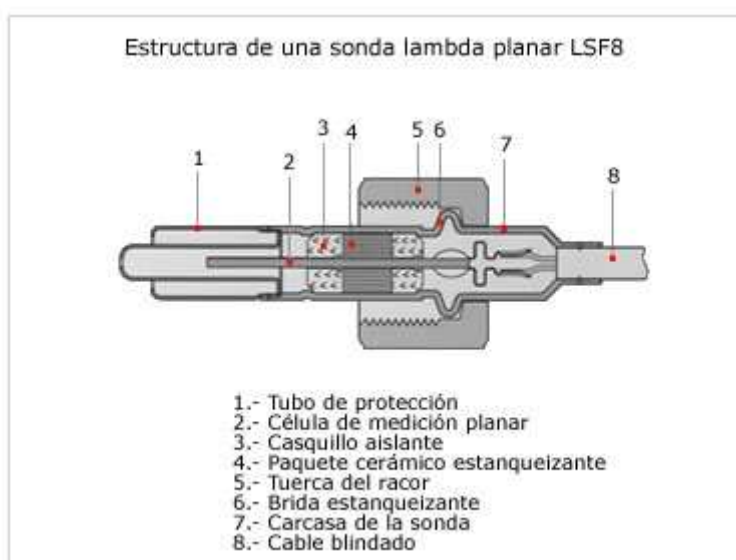


Figura 9.12: Esquema de sonda lambda plana modelo LSF8 de Bosch

#### 9.3.2.4.Sonda lambda plana de banda ancha LSU4

##### Aplicación

Con la sonda lambda de banda ancha se puede determinar en un gran margen la concentración de oxígeno en los gases de escape y juzgar por ella la relación aire-combustible en la cámara de combustión. El coeficiente de aire describe esta relación de aire-combustible.

Las sondas lambda de banda ancha no sólo pueden medir exactamente en el punto "estequiométrico" de "valor lambda" = 1, sino también en el margen pobre de combustible (valor lambda > 1) y en el rico (valor lambda < 1). Ellas suministran una señal eléctrica unívoca y constante en el campo de:

$$0,7 < \text{"valor lambda"} < \text{infinito (aire con el 21 \% O}_2\text{)}.$$

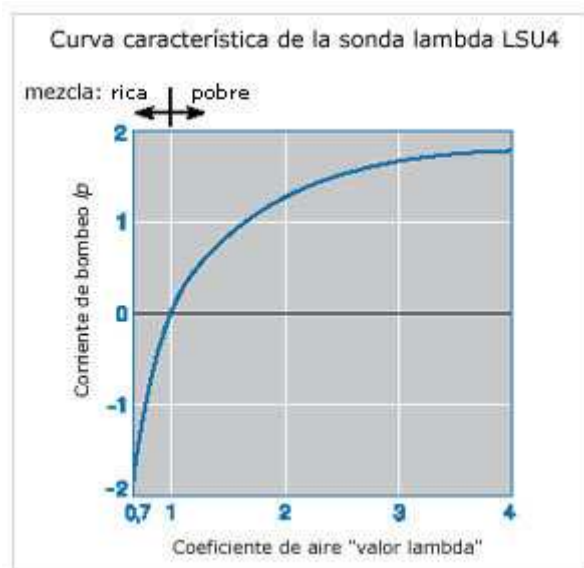


Figura 9.13: Grafica que muestra función de transferencia de sonda lambda plana.

Con estas características, la sonda lambda de banda ancha no sólo se aplica en sistemas de gestión de motores con regulación de dos puntos (valor lambda = 1), sino también en conceptos de regulación con mezclas de aire y combustible pobres y ricas. También es idónea para la regulación lambda de motores de gasolina que funcionan con mezclas pobres, motores Diesel, motores de gas (por eso la denominación LSU: Lambda-Sonde-Universal).

La sonda penetra en el tubo de escape y detecta la corriente de gases de escape de todos los cilindros.

Para una regulación más exacta, en algunos sistemas se emplean varias sondas, por ejemplo delante y detrás del catalizador, así como en los distintos tramos de gases de escape.

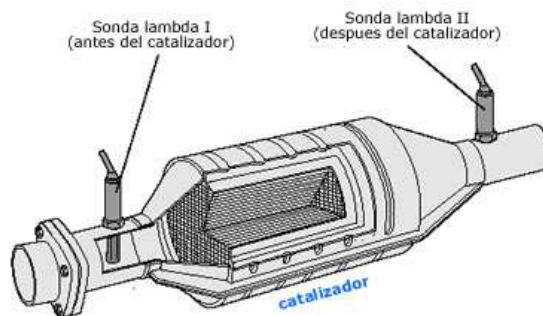


Figura 9.14: Esquema de ubicación de sondas lambda en catalizador.

### Estructura y funcionamiento

La sonda lambda de banda ancha LSU4 es una sonda plana de dos células de corriente límite. Su célula de medición es de cerámica de dióxido de circonio ( $ZrO_2$ ).

Está constituida por la combinación de una célula de concentración de Nernst (célula sensible, funciona como en una sonda lambda de dos puntos) y una célula de bombeo que transporta iones de oxígeno.

La célula de bombeo de oxígeno está dispuesta de tal modo respecto a la célula de concentración de Nernst que entre ambas se forma una ranura de difusión de unos 10... 50  $\mu m$ . Esta ranura está en comunicación con los gases de escape a través de un agujero de acceso; la barrera porosa de difusión limita el flujo sucesivo de las moléculas de oxígeno contenidas en los gases de escape.

La célula de concentración de Nernst comunica en un lado por un canal de aire de referencia, a través de una abertura, con la atmósfera ambiente; en el otro lado está expuesta a los gases de escape en la ranura de difusión.

La sonda no suministra una señal útil hasta que se alcanza una temperatura de servicio de 600... 800° C como mínimo. Para que se alcance rápidamente esta temperatura, la sonda está provista de un calentador.

### Funcionamiento

Los gases de escape llegan a través del pequeño agujero de acceso de la célula de bombeo a la verdadera cámara de medición (ranura de difusión) de la célula de concentración de Nernst.

Para poder ajustar el coeficiente de aire "valor lambda" en la ranura de difusión, la célula de concentración de Nernst compara los gases en esta ranura con el aire ambiente en el canal de aire de referencia.

El proceso total se desarrolla del modo siguiente: Mediante la aplicación de una tensión  $U_p$  a los electrodos de platino de la célula de bombeo, a través de la barrera de difusión se puede bombear oxígeno de los gases de escape a la ranura de difusión o viceversa. Con ayuda de la célula de concentración de Nernst, un circuito electrónico en la unidad de control regula esta tensión aplicada a la célula de bombeo  $U_p$ , de manera que la composición de los gases en la ranura de difusión se mantenga constante en "valor lambda" = 1.

Cuando los gases de escape son pobres, la célula de bombeo, bombea el oxígeno hacia afuera (corriente de bombeo positiva). Cuando son ricos, se bombea por el contrario el oxígeno (mediante descomposición catalítica de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en el electrodo de gases de escape) de los gases del entorno a la ranura de difusión (corriente de bombeo negativa).

Con "valor lambda" = 1 no se ha de transportar oxígeno. La corriente de bombeo es cero. Ella es proporcional a la concentración de oxígeno en los gases de escape y constituye así una medida (no lineal) del coeficiente de aire "valor lambda".

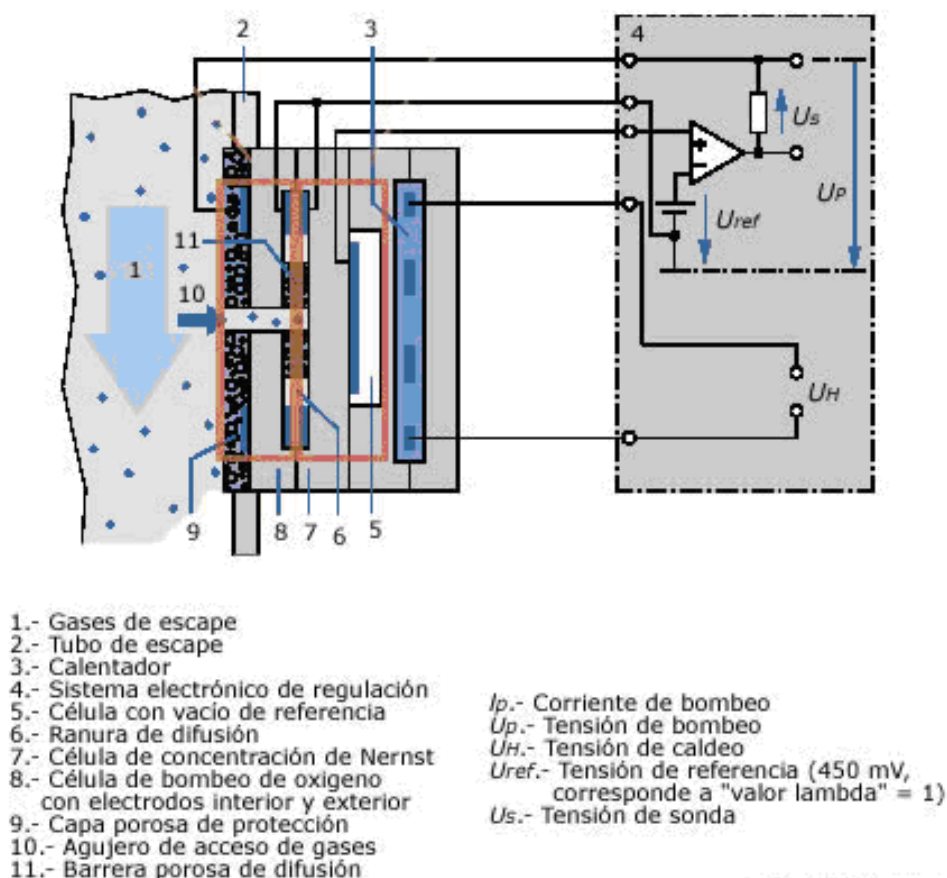


Figura 9.15:Esquema circuito de sonda lambda plana de banda ancha.



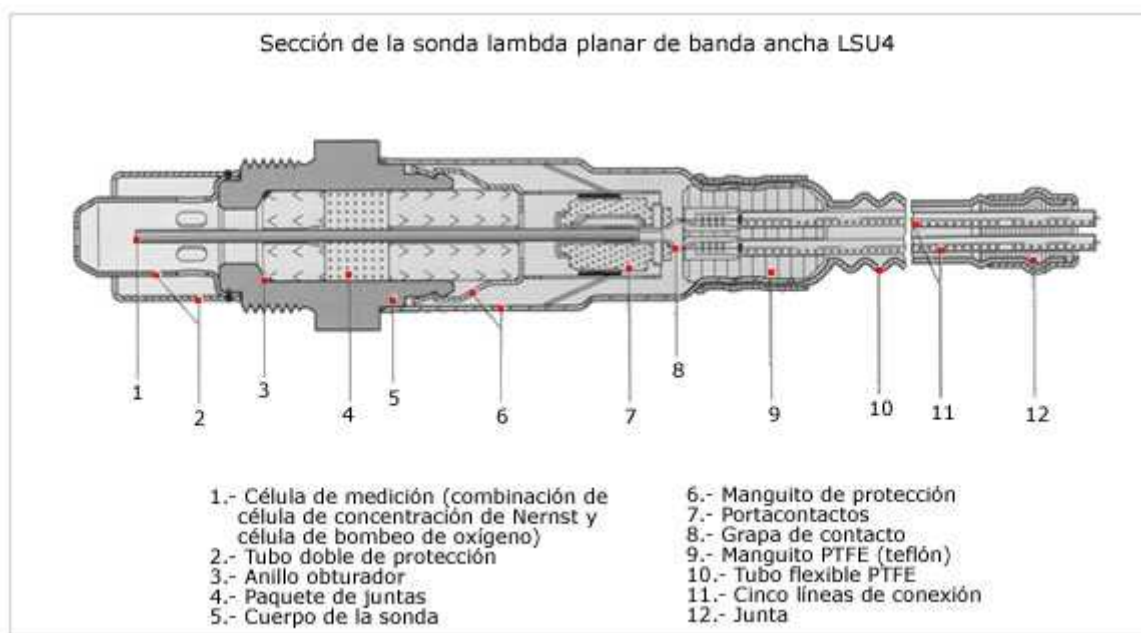


Figura 9.16:Esquema de sonda lambda de banda ancha LSU4.de Bosch.



## 10. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SENSORES

### 10.1 Introducción

El establecimiento de criterios de selección es un tema amplio y complejo.

Por una parte las magnitudes susceptibles a ser transformadas en señal eléctrica son muy numerosas y también muy variadas las tecnologías de transducción disponibles.

Por otra parte, la oferta actual de sensores, captadores, transductores o transmisores de señal es muy amplia, no solo en cuanto a las tecnologías básicas utilizadas, sino también por sus diferencias de ejecución en relación a formatos físicos y a comportamientos ambientales. A todo esto se añade la dificultad de que no existan unos límites precisos en cuanto a las prestaciones que ofrecen las diferentes tecnologías o los diferentes formatos de ejecución.

Por todo ello, vamos a centrarnos en los criterios básicos de selección, es decir, en aquellos que determinen un primer nivel de adecuación entre la magnitud a medir y el elemento detector a utilizar.

El campo de aplicación de las medidas es muy amplio. En principio podemos establecer una primera diferenciación, entre controles de procesos, evaluaciones, ensayos de calidad, etc., en los que la magnitud a medir está completamente definida y el análisis del comportamiento de sistemas en operación.

El primer caso no presenta en principio, problemas de decisión respecto de la medición a realizar, aunque puede presentar algunas dificultades de concreción en cuanto a su puesta en servicio, derivadas principalmente de las diversas alternativas entre las que se puede elegir.

En el segundo caso el proceso de decisión es más complejo, en primer lugar hay que definir cuáles son las magnitudes que interesa evaluar, como más significativas en cuanto al proceso que hay que analizar. En segundo lugar hay que ver cuáles son las magnitudes que se pueden medir, que no siempre son coincidentes con las que realmente interesan. A veces, la magnitud que interesa no es directamente detectable, esto puede ser a causas muy diversas, a veces se trata de magnitudes complejas, en otros casos como en el de la velocidad del amortiguador, el problema consiste en que no se dispone de un sistema adecuado de referencia.

Es por este motivo que la velocidad de un amortiguador solamente puede ser determinada a partir de la medida del desplazamiento en función del tiempo, no admitiendo tampoco una calibración directa. Se trata principalmente de una cuestión de diferencias del sistema. Nuestros sistemas de medidas de velocidades o aceleraciones son inerciales y por ello solo podemos detectar directamente magnitudes absolutas.

Normalmente los captadores vienen definidos por la magnitud en las que son directamente calibrables, mientras que los sistemas de medida pueden venir ya dados en la magnitud final de nuestro interés.

Pero todas estas consideraciones sobre la magnitud que se detecta, la que se mide y la que se evalúa, son muy importantes para tener un criterio sobre lo que realmente se esta haciendo: si por ejemplo se adquiere un medidor de caudal hay que saber si la magnitud que se detecta es la velocidad o la diferencia de presión o la temperatura, ..., para poder establecer el campo de validez de las medidas cuando las condiciones de funcionamiento o la aplicación varían, bien por causas internas (viscosidad del fluido, etc.), o externas (temperatura, presión, etc.).

## 10.2 Algunas características que definen un captador de señal

Son muchas las características que pueden intervenir en la selección de un captador. Sin tener en cuenta las específicas del tipo de magnitud a medir ( temperatura, fuerza, aceleración, etc.) , presento un listado de algunas de estas características:

Rango de medida	Error de alimentación
Tipo de medida	Consumo
Carga de referencia	Offset de cero
Carga exterior	Salida eléctrica
Valor máximo de operación	Histéresis
Valor de rotura	Simetría
Sensibilidad	Temperatura de compensaron
Resolución	Temperatura de funcionamiento
Banda muerta	Frecuencia de resonancia
Precisión	Tiempo de respuesta
Linealidad	Resistencia al choque
Repetitividad	Resistencia de aislamiento
Impedancia de entrada	Sensibilidad a las vibraciones
Impedancia de salida	Mantenimiento
Alimentación	Coste

No voy analizar cada una de estas características pero si que voy a tratar las consideraciones mas importantes que he tenido en cuenta, a la hora de elegir:

- Naturaleza de las magnitudes físicas a medir.
- Tipo del fenómeno físico: estático o dinámico.
- Rangos de medida, sensibilidad y resolución.
- Precisión requerida: linealidad, deriva etc.
- Salida eléctrica: en tensión o intensidad.

### 10.2.1 Naturaleza de las magnitudes físicas a medir

La magnitud física a detectar (en nuestro caso velocidad, aceleración, revoluciones, temperaturas, etc.), junto con el sistema de referencia a utilizar, definen el tipo de captador a utilizar. Al hablar del sistema de referencia me refiero a que no es lo mismo medir la temperatura a la salida del tubo del escape de forma absoluta o con referencia la temperatura ambiente. En este caso se utilizaran siempre sondas de temperatura aunque sean de ejecuciones diferentes. Pero si tenemos que determinar un desplazamiento puede ser necesario un acelerómetro (elongación de vibración absoluta), de una probeta de proximidad (vibraciones relativas de eje), o de un captador de desplazamiento lineal o angular.

Por otra parte, a veces bajo la misma denominación, podemos estar refiriéndonos a magnitudes físicas diferentes, en el caso de caudal puede ser volumétrico o masico, de líquidos o de gases, etc.

### 10.2.2 Tipo de fenómeno físico: estático o dinámico

Así como la magnitud física define el captador a utilizar, el tipo de fenómeno físico (estático, dinámico, impulsivo, etc.), determina a veces, la tecnología del sensor a utilizar.

El contenido en frecuencia de un fenómeno físico es una de las características fundamentales, desde el punto de vista de su caracterización. En función del principio de transducción en que estén basados, hay traductores que no detectan los fenómenos físicos con bajo contenido en frecuencias, es decir, los fenómenos estáticos o cuasi estáticos (lentamente variables). Y hay otros que no pueden responder a las variaciones muy rápidas (por ejemplo, con un captador potenciómetro no se puede medir los desplazamientos de rápida evolución que se producen en la amortiguación de la motocicleta).

Por ultimo, hay captadores que en base a su principio de medida si podrían detectar magnitudes muy rápidamente variables, pero a los que su configuración mecánica normalmente no se lo permite, ya que sencillamente estos se romperían.

En este tema abarcamos un amplio numero de conceptos de teoría de sistemas, como son el de frecuencia natural, frecuencia de resonancia, frecuencia de respuesta, banda pasante, coeficiente Q de amortiguación, respuesta plana, tiempo de respuesta, etc.

Como regla general para seleccionar un captador para trabajar en régimen dinámico, hay que buscar entre sus especificaciones cual es su frecuencia de respuesta, o su banda pasante, o su respuesta plana en frecuencia, o temidos análogos, que indican la banda en Hz o kHz, en que la respuesta del captador es plana, es decir que su salida eléctrica no esta afectada por el valor de la frecuencia a la que se esta midiendo. Si no existe una especificación de este tipo, significara normalmente que el captador solo es utilizable con fenómenos lentamente variables, no con fenómenos dinámicos constates o de tipo impulso.

El tiempo de respuesta es un concepto íntimamente ligado al la respuesta en frecuencia, ya que si el tiempo de respuesta es grande no se pueden conseguir pasos de banda amplios ( respuesta plana a frecuencias elevada). Pero un tiempo de respuesta corto es una característica de gran importancia aunque el fenómeno a medir sea lentamente variable. El tiempo de respuesta se puede definir como el tiempo que necesita el traductor para que su salida alcance el valor correspondiente a un escalón de carga determinado.

Otro dato importante cuando se trabaja en régimen dinámico es el ciclo de vida del traductor, es decir, el numero máximo de ciclos de carga que puede experimentar sin salirse de las tolerancias específicas y sin riesgo de rotura.

### 10.2.3 Rango de la medida: sensibilidad y resolución

Dependiendo de la medida a tratar tendremos un rango de magnitud diferente, es decir, no es lo mismo medir temperatura ambiente ( en el que el rango de medida seria de unos 50° máximo) a medir la temperatura de los gases de escape ( en el que tenemos un rango de medida de 300°).

Es evidente que, unas ordenes de magnitud tan diferentes exigirán unas tecnologías de traducción también distintas. Desde el punto de vista de la realización de unas medidas, hay una serie de conceptos ligados a las ordenes de magnitud que son importantes para la selección del traductor. No puede decirse, en términos absolutos, que una magnitud sea demasiado grande o demasiado pequeña para ser medida. Todo depende de los métodos y de los instrumentos disponibles, pero desde un punto de vista practico se considera que toda aquella magnitud que no puede ser calibrada físicamente no es susceptible a ser medida, solo podrá ser calculada o deducida, en nuestro caso todas las magnitudes pueden ser calculadas y medidas.

Otro concepto usado para determinar los rangos de medida son el de gama de medida, se denomina así a la diferencia, en rango, entre los máximos y mínimos valores normalmente medibles con un solo captador, como norma general se suele decir que la gama de medida esta comprendida entre el valor de fondo de escala y la décima parte de este valor.

Para la medición de los valores máximo y mínimo seria practico utilizar un solo captador de manera que el usado para medir m/s fuese también adecuado para medir Km./h. Normalmente, excepto en algunas tecnologías como la piezoeléctrica, que cubre un rango de medida muy amplio, un captador no debe ser utilizado mas que excepcionalmente por debajo de una 1/10 de su valor a fondo de escala, de igual manera que no utilizamos el mismo instrumento para medir toneladas que para medir gramos.

La solución a este problema es conceptualmente muy simple aunque económicamente no lo sea tanto, basta con utilizar los captadores suficientes para cubrir adecuadamente el rango completo de medida.

La sensibilidad es la pendiente de la curva de calibración que relaciona la salida eléctrica del captador con la magnitud física detectada. Según el tipo de captador, este concepto difiere bastante. La sensibilidad viene dada normalmente, en los captadores activos, que no necesitan alimentación, en magnitud eléctrica/magnitud física (por ejemplo, mV/g, mV/csi, etc.) y en los captadores pasivos será como relación entre dos magnitudes eléctricas, salida fondo de escala/tensión de alimentación. Para un captador que puede ser alimentado entre 5 y 15Vcc decir que su sensibilidad es de 2mV/V significa que si lo alimentamos a 10Vcc obtendríamos una salida de 20 mV.

La resolución puede ser definida como la mas débil variación detectable, aunque se acostumbra a decir que la resolución es infinita cuando la minima variación detectable es cero. En general, casi todos los captadores, por su propio principio de medida, presentan resolución infinita, en este aspecto los limites los imponen normalmente el equipo de medida.

El concepto de resolución puede expresarse también en términos de tolerancia, banda muerta o zona neutra, definido como el rango a través del cual la entrada de señal puede variar sin causar ningún cambio perceptible en la señal de salida.

#### 10.2.4 Precisión requerida: error y linealidad

Esta es una de las prestaciones básicas a tener en cuenta cuando hay que seleccionar un transductor. La precisión define su categoría o su clase (y no precisamente su calidad, ya que un captador de baja precisión puede ser en su clase un buen captador) Pero la precisión es cara, los baremos que se barajan a este respecto marcan igual incremento para la precisión que para el precio: multiplicar por 10 la precisión implica multiplicar también por 10 el precio.

Es difícil establecer limites definidos en cuanto a la precisión típica de un captador porque depende mucho del procedimiento de transducción utilizado y del tipo de magnitud a medir. Con carácter general se puede decir que tenemos una precisión de calidad normal entre el 1% y el 0,5% de fondo de escala, una precisión de calidad buena entre el 0,5% y el 0,1% de fondo de escala y una precisión de calidad excelente por debajo del 0,1% del fondo de escala.

La precisión de la medida dado el porcentaje del fondo de escala será el cociente entre el error total y el rango completo de medida. El error total es a su vez la diferencia entre el valor leído y el valor verdadero.

Pero el traductor no es mas que uno de los componentes que participan en la realización de las medidas, es decir, solamente una parte de los errores que puedan cometerse son de su incumbencia., por eso no es necesario buscar una precisión muy buena en el traductor, aunque sin ninguna duda es deseable que presente la mayor precisión posible, pero hay que adecuar exigencias y necesidades, un traductor con mas precisión de la que se necesita indica también un mayor coste del necesario.

Por otra parte, el termino de error es muy amplio y hasta en cierto modo un poco ambiguo, no es lo mismo hablar de errores de instalación o montaje que hablar de errores de limitación propios de la respuesta del traductor, es por eso que estos últimos son de mayor importancia a la hora de elegir.

Hay que tener en cuenta que existen una serie de errores inherentes a la medida, que establecen un limite a la precisión, seria absurdo utilizar un traductor que ofreciera prestaciones superiores a las marcadas por este limite, errores de este tipo son:

- Errores ligados a la concepción del procedimiento de detención
- Errores en la calibración; una medida nunca tendrá mayor precisión que el procedimiento de calibración utilizado.
- Errores de montaje; errores inherentes a la colocación física del elemento de medida.
- Errores por vibración; de origen mecánico y relacionados normalmente con la instalación del captador.
- Errores de alimentación; la sensibilidad es función de la alimentación
- Error de instalación eléctrica; ligado con el anterior ya que la sensibilidad dependerá de donde se mida el valor de la alimentación.
- Ruido eléctrico dependiente del adecuado apantallamiento eléctrico.

Lo que se denomina precisión del captador , es un error combinado que incluye diferentes términos, según el fabricante lo establezca. Normalmente es el valor medio cuadrático de los errores de no linealidad, histéresis, repetibilidad y en algunos casos errores de sensibilidad y de derivas térmicas. Analizando cada uno de estos errores por separado entenderos que:

- El error de no linealidad es la máxima desviación de la curva característica respecto de la línea recta que une los puntos cero y fondo de escala, expresando el porcentaje del valor fondo de escala, siempre que el cero de la curva característica se haya hecho coincidir con el origen de coordenadas.
- El error de histéresis, es la máxima diferencia entre las salidas de señal correspondientes a un punto de las magnitudes crecientes y decrecientes entre cero y fondo escala, expresada en porcentaje del valor fondo de escala.
- El error de repetibilidad es la cualidad de un traductor de reproducir la mismas lecturas de salida cuando un mismo valor a medir es aplicado consecutivamente, bajo las mismas condiciones y en la misma dirección. Se expresa en valor cuadrático medio de la diferencia entre lecturas o como el doble del valor cuadrático medio de las desviaciones de lectura respecto al valor de las mismas.
- El error de deriva térmica cero, nos indica que normalmente un traductor sin carga y en condiciones normales de temperatura da salida cero, o el valor que se haya establecido al respecto. Si se mantiene sin la carga, la salida no debe variar en todo el rango de temperaturas de funcionamiento que se haya establecido. El error de deriva de cero será la mayor salida que se obtenga a lo largo de todo el rango de operación.

- El error de deriva térmica a fondo de escala, es un error análogo al anterior, pero cuando se aplica el máximo valor de carga específico, con rango fondo escala.
- El error de deriva térmica total que se especifica en algunos catálogos será el mayor de los dos errores explicados anteriormente en el caso de que no se presenten cada uno por separado.

Hay otros errores a tener en cuenta pero que no tienen la importancia de los que acabamos de explicar ejemplo de ellos son el error de sensibilidad, error de vuelta a cero (especie de histéresis debida a mal comportamiento o inadecuado montaje), estabilidad a corto plazo, a medio plazo y a largo plazo y tiempo de recuperación.

Además de los errores debidos directamente al traductor en la calidad de la medida aparecen los errores ligados al acondicionamiento electrónico de la señal que dependen de la precisión del instrumento (la precisión del instrumento a de ser mayor que la del traductor) a la conversión digital /analógica y analógica/digital.



## 11. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

### 11.1. Introducción

En la actualidad el vertiginoso desarrollo de la electrónica y la microelectrónica han motivado que todo lo posible sea automatizado. En todo ese proceso de automatización el microprocesador y el microcontrolador juegan un papel de suma importancia. Ellos han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes que resuelven los mas diversos problemas, son los llamados Sistemas de Adquisición de Datos.

El objetivo básico de los "Sistemas de Adquisición de Datos" (S.A.D) es el uso de los diferentes recursos que lo integran :

Transductores de diferentes tipos y naturaleza, multiplexores, amplificadores, circuitos de muestreo y retención (sample and hold), conversores A/D y D/A, además se usan todas las prestaciones de un microcontrolador como CPU del SAD, interrupciones, temporizadores, comunicaciones en serie así como hacer uso de memorias y puertos externos y creando con todo ello un sistema que se encargue de una aplicación específica como es chequear una o mas variables para una posterior utilización de la misma ya sea con fines docentes, científicos, de almacenamiento o control y utilización de la misma.

Los sistemas digitales de control se utilizan ampliamente debido a su bajo coste en comparación con los analógicos. Presentan ventajas en cuanto a la inmunidad al ruido, precisión y facilidad de implementar funciones complejas.

### 11.2. ¿Qué es un Sistema de Adquisición de Datos? (SAD)

Un Sistema de Adquisición de Datos no es mas que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o mas variables de un proceso cualquiera, de forma general puede estar compuesto por los siguientes elementos.

- Sensores.
- Amplificadores operacionales.
- Amplificadores de instrumentación.
- Aisladores.
- Multiplexores analógicos.
- Multiplexores digitales.
- Circuitos de muestreo y retención (Sample and Hold).
- Conversores A-D.
- Conversores D-A.
- Microprocesadores.
- Contadores.
- Filtros.
- Comparadores.
- Fuentes de potencia.

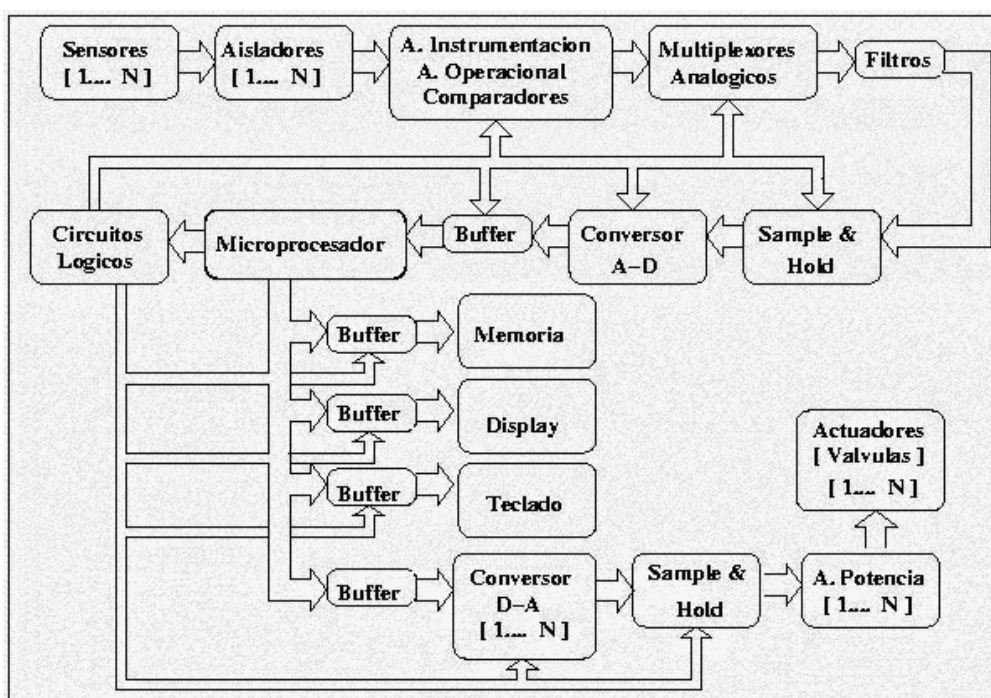


Figura 11.1:Diagrama de bloques general de un SAD.

El S.A.D debe tener una estructura y organización muy equilibrada que le permita su buen funcionamiento de ello depende de que el mismo rinda al máximo y sin ningún defecto.

### 11.2.1. Sensores o Transductores

Los sensores tienen un rol vital en todo SAD ellos tienen la función de convertir la variable física que se desea registrar en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, capacidad, Inductancia, etc.). Entre las magnitudes físicas más importantes a registrar tenemos: temperatura, humedad, presión, concentración, iluminación, flujo, posición, nivel, peso, etc. Diversas pueden ser las variables ambientales, industriales, biológicas, químicas, etc. que en un momento determinado podemos necesitar controlar, esto provoca que sean también numerosos los tipos de sensores así como su principio de funcionamiento, lo cual determina generalmente el costo de sensor que será necesario utilizar.

#### Acondicionamiento de la señal

En todo SAD o sistema donde sea usado un conversor A/D es muy importante el acondicionamiento previo de la señal que es suministrada al conversor, la esencia del acondicionamiento es hacer que el rango de variación real que experimentará la variable a medir se convierta en el rango máximo de voltaje de entrada que acepta el conversor A/D que se utiliza, o sea que el valor mínimo de la variable a medir imponga a la entrada del conversor el valor mínimo del voltaje que el acepta y el valor máximo de la variable a medir imponga el valor máximo de voltaje que el conversor admite.

Paralelamente el acondicionamiento de la señal también implica la transformación de la señal entregada por el sensor de forma que siempre la magnitud final sea voltaje, además en el acondicionamiento se puede garantizar el filtrado de valores de ruido no deseadas en la variable medida.

La etapa acondicionadora esta formada básicamente por amplificadores operacionales, comparadores de nivel y amplificadores de instrumentación.

#### 11.2.2. **Amplificadores operacionales**

En sus configuraciones básicas (inversora, no inversora, amplificadora, convertor de corriente a voltaje, etc.), son usados para garantizar que al convertor A/D le sea suministrado el rango máximo de voltaje y así el mismo pueda dar el mayor número de combinaciones posibles.

#### 11.2.3. **Amplificador de instrumentación**

Puede alternadamente sustituir al amplificador operacional, siempre que la aplicación lo exija, pues los mismos tienen prestaciones superiores a los amplificadores operacionales normales, lo cual hace que sean más costosos. Entre las características de los amplificadores de instrumentación tenemos una impedancia de entrada infinita y una ganancia ajustable en ocasiones mediante una red resistiva de precisión externa o mediante resistores internos de precisión por interruptores o por software.

#### 11.2.4. **Aisladores**

Son dispositivos de mucha importancia principalmente en equipos o instrumentos que manejen altas tensiones, ya que es necesario garantizar el aislamiento entre los instrumentos de medición y las fuentes de alta tensión. Entre los dispositivos más comunes son los opto-acopladores.

#### 11.2.5. **Multiplexores**

Los multiplexores ya sean analógicos o digitales son dispositivos que nos permiten multiplexar varias entradas en una única salida. Ellos nos permiten que para registrar varias señales diferentes podamos utilizar un único convertor A/D y con ello disminuir de forma considerada el costo e un SAD. Generalmente los multiplexores se pueden dividir por el tipo de salida en simples y diferenciales o por el número de entradas en de 2, 4, 8 ó 16 entradas. El hecho de existir una gran variedad de multiplexores nos obliga a hacer una correcta selección según las exigencias de nuestro sistema, sobre la base de disminuir los costos del mismo. Los multiplexores diferenciales de mayor costo que los de salida simple, son usados normalmente cuando son utilizadas para multiplexar señales de naturaleza diferentes por ejemplo: temperatura, presión, concentración, etc.

Los amplificadores de salida simple se recomiendan cuando se multiplexan señales de naturaleza semejante: por ejemplo cuando registramos la temperatura en diferentes puntos. En esencia la diferencia entre los multiplexores de salida simple y diferencial está en que para los últimos, la señal de referencia ( tierra ) es también multiplexada lo cual no ocurre para los multiplexores de salida simple.

En la medida que aumenta el número de entradas de un Multiplexor también aumenta su costo y el número de terminales de control que el mismo necesita, por lo cual es también muy necesario utilizar en una aplicación un multiplexor con el número de entradas que se requiera.

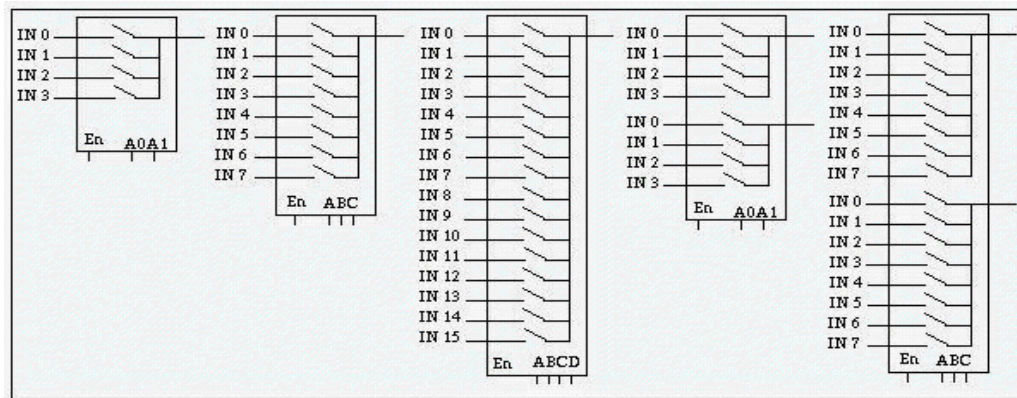


Figura 11.2:Diagrama de diferentes tipos de multiplexores.

#### 11.2.6. Circuitos de muestreo y retención (Sample and Hold)

Dispositivo electrónico con dos posibilidades de trabajo modo Sample y modo Hold. En el primer modo la señal pasa a la salida del dispositivo tal y como esta en la entrada del mismo. En el modo Hold, la salida se mantiene en el nivel de voltaje que existía en la entrada en el momento que la señal hold fue activada.

El sample and hold debe ser utilizado cuando la señal de voltaje que entra a un conversor A/D varía en un nivel suficiente como para que el conversor cambie 1/2 bit menos significativo en un tiempo menor que el que el conversor necesita para hacer la conversión.

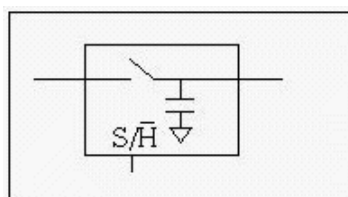


Figura 11.3:Sample and Hold.

Si se cumple la siguiente expresión entonces tenemos que usar Sample & Hold:

$$\frac{\Delta V \cdot T_{con}}{\Delta t} > \frac{FSR}{2^{n+1}}$$

Fifura 11.4:Ecuación del Sample and Hold.

### 11.2.7. Conversor Analógico Digital A/D

Dispositivo electrónico que convierte una señal eléctrica continua (generalmente voltaje) en un código digital equivalente.

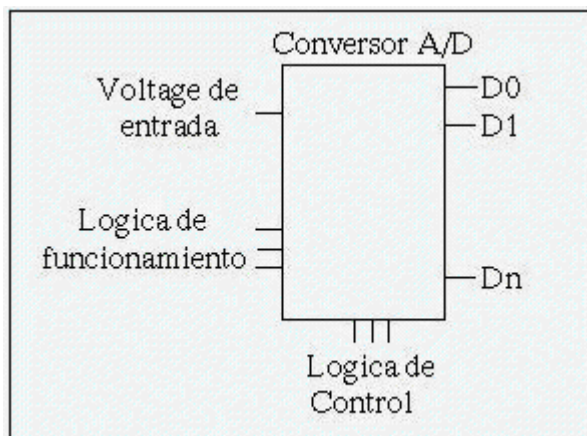


Figura 11.5:Esquema general del A/D.

Los terminales de la lógica de control de conversor A/D generalmente determinan e inician el estado de las operaciones que el mismo realiza entre estos terminales tenemos: Inicio de conversión, fin de conversión, chip select, chip enable, wr, rd, señales para la selección de varios canales, etc.

Mediante los terminales de la lógica de funcionamiento podemos establecer el tipo de codificación que el conversor realizara (unipolar o bipolar), las referencias de voltaje que utiliza, el rango de voltaje de entrada, ajuste de off set, etc.

Existen fundamentalmente dos métodos de codificación bipolar y unipolar, estos métodos establecen la relación existente entre el código de salida y el voltaje e entrada al conversor.

Modo unipolar: Se utiliza para señales de una sola polaridad + o -.

$E_o = \frac{FSR}{2^n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i$	<p>FSR: Voltaje a plena escala</p> <p><math>\sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i</math>: Código binario</p> <p>n: Numero de bits</p> <p>E<sub>o</sub> : Voltaje de entrada</p>
--	--

Figura 11.6:Ecuación para el modo unipolar del A/D.



Modo Bipolar: Este tipo de conversión se recomienda cuando se estén monitorizando señales bipolares o sea con polaridad + y -.

$$E_o = \frac{FSR}{2^n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i + \frac{FSR}{2^n}$$

FSR: Voltaje a plena escala  
 $\sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i$ : Código binario  
 n: Numero de bits  
 Eo : Voltaje de entrada

Figura 11.7:Ecuación para el modo bipolar del A/D.

Resolución: Nivel de voltaje que es capaz de discriminar un conversor A/D. O sea el nivel de voltaje para el cual el conversor cambia en un bits menos significativo. La resolución (R) depende del voltaje a plena escala y del número de bits del conversor.  
 $R = FSR/n$

Si aumenta el número de bits aumenta la efectividad del conversor, la exactitud del sistema y por tanto el precio del conversor.

#### 11.2.8. Conversor Digital Analógico D/A

Dispositivo que me convierte un código digital en una señal eléctrica correspondiente (voltaje o corriente). Su función dentro de un SAD o de control es proporcionar un nivel de voltaje o corriente deseada a un elemento que me permitirá variar la variable que estoy controlando hasta llevarla al valor deseado. Este tipo de dispositivo también se puede utilizar como generador de señales.

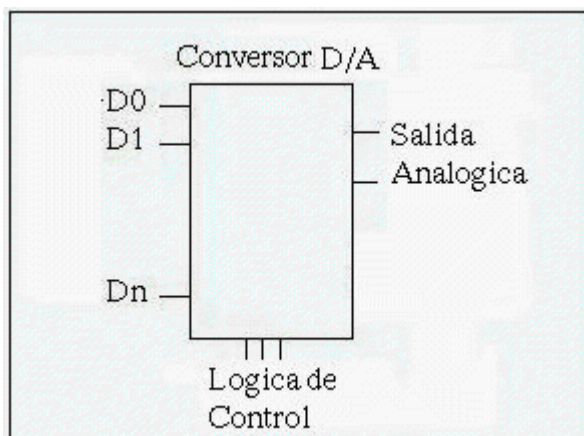


Figura 11.8:Estructura general de un D/A.

Un conversor D/A puede tener normalmente 8, 10 ó 12 bits, salidas analógicas que pueden ser voltaje o corriente y sus variables de control frecuentemente son: Vref, Wr, CS, CE y Rfb.

En un conversor D/A al igual que en muchos dispositivos digitales el tiempo de establecimiento de un 1 lógico es mayor que el de un 0 lógico esto provoca que se produzca un efecto no deseado conocido como GLITCH.

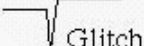
Codigo digital de entrada	Salida (Vout)
0111 1111 0000 0000 1000 0000	 Glitch

Figura11.9:Ejemplo de transición donde ocurre el glitch.

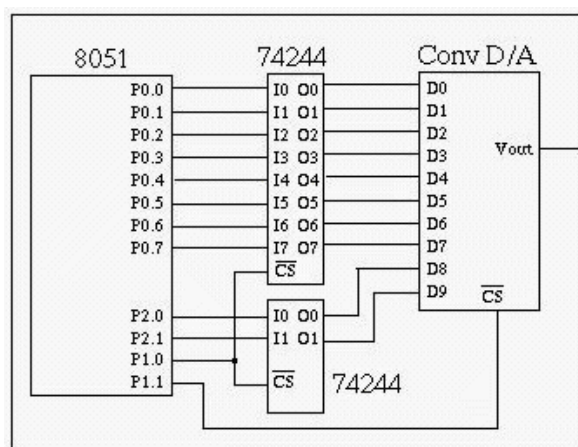


Figura 11.10:Conexión de un conversor D/A con más de 8 bits.

En muchos conversores D/A para obtener una nivel de voltaje ya sea bipolar o unipolar es necesario implementar una configuración externa.

### 11.2.9. Microprocesadores

Los microprocesadores son los que se encargan del almacenamiento y procesamiento de los datos, son dispositivos que se encargan de todas las funciones de procesamiento de la señal. Estos son de gran importancia porque son como el corazón del sistema de adquisición de datos.

### 11.3. Preparación de la señal

En el mundo físico, las variables son continuas y es preciso transformarlas y convertirlas a variables digitales para que un sistema digital las pueda procesar. Los sistemas de adquisición de datos cumplen todas estas funciones.

De forma global, la entrada de un SAD es un parámetro físico como la temperatura, la presión, caudal etc., presentado en forma analógica. El transductor convierte este parámetro a señales eléctricas, usualmente en forma de tensión del orden de uV o mV. La salida de un transductor puede ser de alta impedancia, de señal diferencial con ruido en modo común, de salida por intensidad en lugar de tensión, con una señal superpuesta a una alta tensión, o una combinación de estas. El amplificador debe amplificar solo las señales a una tensión de nivel suficiente para poderlas tratar posteriormente.



Usualmente, al amplificador le sigue un filtro activo o pasivo para filtrar el ruido que pueda llevar la señal, entendiendo por ruido cualquier señal no deseada, tal como componentes de alta frecuencia, o ruido eléctrico debido a interferencias. En algunos casos, este filtro es pasivo y se dispone antes del amplificador para que este no amplifique también el ruido, sobretodo cuando tiene mucha ganancia.

Cuando así lo requiere la amplificación, al conjunto filtro-amplificador le sigue un circuito que integra una función analógica no lineal que puede consistir en alguna de las siguientes: Producto, división logarítmica, exponencial etc..

La señal analógica procesada va seguida mente a un multiplexor de varios canales. Cada entrada es conectada a la salida de un multiplexor por el conmutador interno durante un tiempo específico, durante este tiempo de conexión un circuito de muestreo y retención (sample and hold) adquiere la tensión de la señal y después retiene la señal en un condensador interno o externo, mientras que un convertidor analógico digital convierte a este valor en forma digital.

La palabra digital resultante es entregada posteriormente a un BUS de un microprocesador.

Es necesario distribuir el tiempo entre los canales de entrada del multiplexor de forma que se de tiempo al convertidor A/D para transformar la señal sin que con ello se pierda información de ninguna de las distintas señales entregadas al SAD.

La temporización y control completo se adjudica a un secuenciador controlado por el propio microprocesador. Otras veces, es el microprocesador el que directamente controla al SAD. Este sistema es utilizado frecuentemente aunque hay otras alternativas.

#### **11.4. Proceso de cuantificación y codificación**

La conversión A/D es, en su forma conceptual básica un proceso de dos pasos: cuantificación y codificación.

La cuantificación es el proceso de transformación de una señal continua analógica a un conjunto de estados discretos de salida. El numero de estados de salida para una combinación binaria de un convertidor es  $2^n$ , donde n es el numero bits.

Los puntos de tensión de decisión analógica están precisamente a medio camino entre el centro de los puntos de las palabras del código. La función de escalera es la mejor aproximación que puede efectuarse sobre una línea recta trazada entre los puntos de principio y final de escala. Esta línea pasa a través de todos los centros de las palabras codificadas.

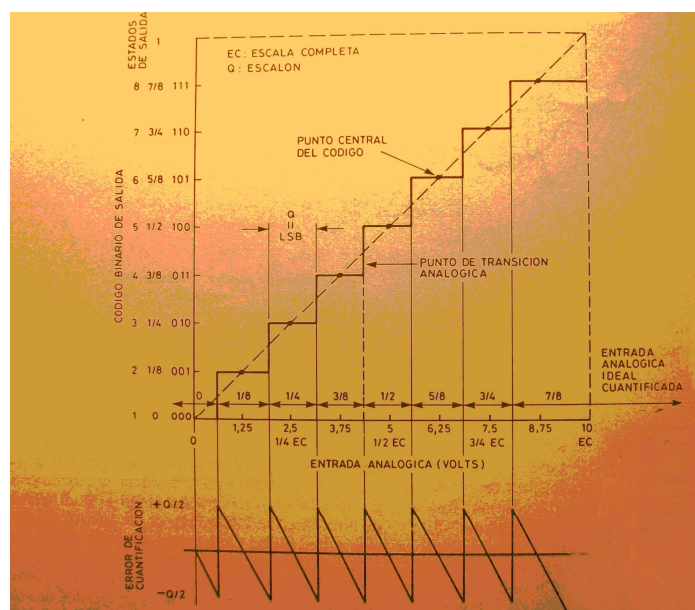


Figura 11.11: Función de transferencia ideal de un convertidor A/D.

En cualquier punto del margen de entrada del convertidor, hay un pequeño rango de valores analógicos dentro del cual se produce el mismo código de salida. Este pequeño rango es la diferencia de tensión entre cualquiera de los puntos de decisión adyacentes, y se conoce como el tamaño de la cuantificación analógica  $Q$ .

$$Q = EC/2^n$$

Donde  $EC$  es escala completa analógica y  $Q$  es la diferencia analógica mas pequeña que puede extender el convertidor. Si la entrada del convertidor se mueve dentro de su escala completa de valores analógicos y se toma la diferencia entre la entrada y la salida se obtiene una función de error en forma de diente de sierra. Esta función se llama error de cuantificación y es error reducible que resulta del proceso de cuantificación. Solo se puede reducir incrementando el numero de estados de la salida del convertidor, es decir, su resolución.

Un convertidor A/D requiere un pequeño pero significativo aumento de tiempo para efectuar las operaciones de cuantificación y codificación. El tiempo preciso para efectuar la conversión depende de varios factores: la resolución del convertidor, la técnica de conversión y la velocidad de los componentes empleados en el convertidor.

La velocidad de conversión requerida en una aplicación particular depende de la velocidad de variación de la señal a ser convertida y de la precisión deseada. El tiempo de conversión es llamado también tiempo de apertura. En general, el tiempo del apertura se refiere a la incertidumbre de tiempo en hacer una medida, y resulta una incertidumbre de amplitud en la medición, si la señal esta cambiando durante este tiempo.

El error puede ser considerado un error de amplitud o un error de tiempo ya que los dos están relacionados debido a que la derivada de la velocidad respecto al tiempo es igual al error máximo debido a la variación de la señal, mientras que el error real depende de cómo se efectúa la conversión.

Un circuito de muestreo y retención toma una muestra de la señal y la retiene en un condensador durante el tiempo necesario para efectuar la conversión A/D, el tiempo de conversión se reduce mucho debido al menor tiempo de apertura. A su vez, el tiempo de apertura es una función de su banda pasante y de su tiempo de conmutación.

### 11.5. Teoría de muestreo

En los sistemas de adquisición, las señales analógicas rápidas son muestreadas periódicamente. Cuando un SAD debe adquirir señales con una variación lenta en el tiempo no es necesario muestrear y por ello puede desaparecer el circuito de muestreo y retención. El resultado del muestreo rápido es idéntico al del multiplicar la señal por un tren de impulsos de muestreo de amplitud unidad dando como resultado un tren modulado.

La amplitud de la señal original se conserva en la envolvente de modulación de los impulsos. Si el tipo de conmutador y de muestreo se sustituye por un conmutador y un condensador, entonces la amplitud de cada muestra se retiene entre muestra y muestra y resulta una reconstrucción razonable de la señal original.

El propósito del muestreo es la utilización eficiente de los equipos procesadores de datos y el facilitar la transmisión de los mismos. Un simple SAD, por ejemplo puede utilizarle para transmitir varios canales analógicos basándose en el muestreo, con ventajas respecto al sistema antieconómico de utilizar varios canales de transmisión para enviar continuamente varias señales. Al mismo tiempo, un SAD se puede utilizar para medir y controlar los distintos parámetros de un sistema de control de proceso muestreando los parámetros y actualizando los valores de los mismos, para posteriormente ser procesados. En los SAD es común utilizar un único convertidor A/D de alta velocidad y precisión y multiplexar varias entradas analógicas muestreándolas con un circuito de muestreo y retención.

Es necesario saber cada cuanto tiempo se debe tomar una muestra de una señal para no tener pérdidas de su información. Si una señal es lenta, se puede extraer toda su información fácilmente al muestrear de forma que no haya cambio o este sea muy pequeño. Habrá una pérdida de información si hay un cambio significativo en la amplitud de la señal entre cada muestra.

La teoría del muestreo da la solución al problema de escoger el tiempo de muestreo el enunciado es el siguiente: Si una señal continua de banda pasante limitada no contiene componentes de frecuencias fe, la señal original puede ser reconstruida sin distorsión si esta muestreada a una frecuencia de como mínimo dos veces fe muestras por segundo. No obstante en la practica se utilizan frecuencias mayores para mayor seguridad y menor distorsión.

### 11.6. Tiempo de respuesta requerido

Un parámetro que frecuentemente se tiene en cuenta en los SAD, es el tiempo de estabilización conocido también como tiempo de respuesta en teoría de sistemas. Este término está definido como el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón a la entrada del circuito hasta que la salida ha llegado a un valor final determinado y permanece dentro de su valor específico de banda. El método de aplicación del escalón puede variar, dependiendo del tipo de circuito, pero la definición no varía. La importancia del tiempo de estabilización en los SAD es debida a que ciertas operaciones analógicas deben ser efectuadas en secuencia, y el valor de una operación debe quedar exactamente establecida antes de que la próxima pueda ser iniciada. Por lo tanto, un amplificador que preceda a un convertidor A/D debe tener el nivel de la señal de salida exactamente establecido antes de que pueda iniciarse la conversión.

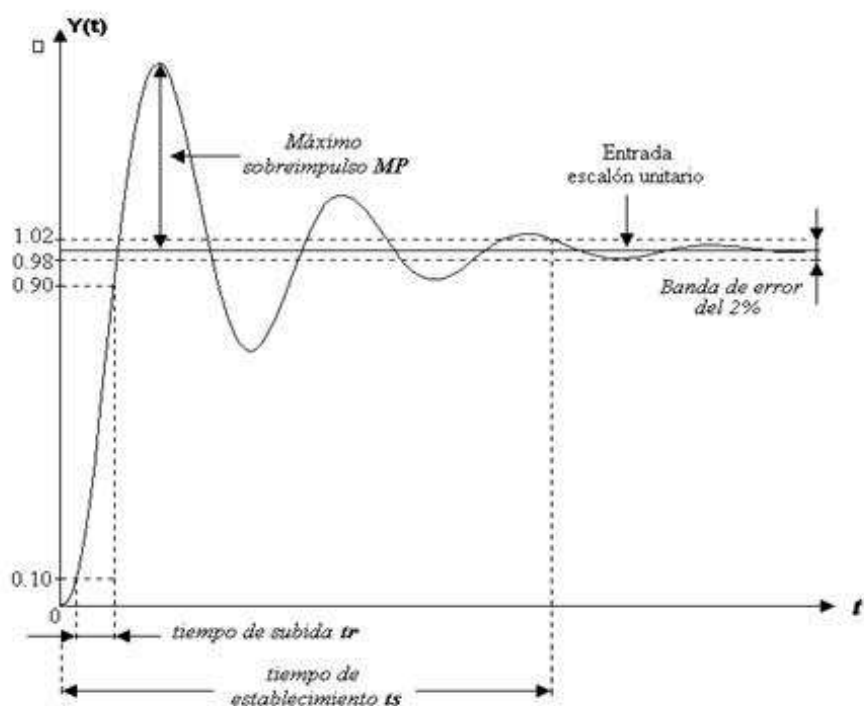


Figura 11.12: Gráfica en respuesta de sistema de segundo orden.

### 11.7. Circuitos ASIC

Antes de enviar la señal del sensor para la evaluación digital por parte de la centralita, las señales de los sensores necesitan una preparación específica. La preparación de señales (SA) puede incluir, en tanto sea necesario, por ejemplo. Las siguientes funciones:

- Amplificación (DC, AC).
- Rectificación (también con sincronización de fases).
- Evaluación de valores umbral, conformación de impulsos.
- Conversión V/f, modulación de la duración de impulsos.
- Filtrado de frecuencias, protección contra tensiones parásitas.
- Conversión analógica/digital o digital/analógica,
- Equilibrado de derivas (Offset)
- Linealización.
- Equilibrado de la compensación de temperatura (analógico, digital).
- Puesta a cero automática, calibrado durante el funcionamiento.
- Autovigilancia (diagnóstico de a bordo) y funciones de test.
- Regulación de sensores sometidos a un servo-mando.
- Generación de una tensión alterna para sistemas de sensores de frecuencia portadora.
- Estabilización de la alimentación de tensión.
- Protección de las etapas de salida y de excitación contra cortocircuitos y sobretensiones.
- Multiplexor de señales.
- Interfase para bus (por ejemplo CAN).

Todas estas funciones están generalmente disponibles en forma de circuitos integrados de aplicación específica llamados ASIC (**A**pplication **S**pecific **I**ntegrated **C**ircuits). Estos circuitos hechos a medida para la aplicación respectiva pueden estar dispuestos en el lado del sensor, integrados junto con el sensor o en el lado de la unidad de control. En algunos casos las diversas funciones están repartidas incluso entre los dos lados.

La integración del circuito junto al sensor ofrece la ventaja de que el sensor y la preparación de señales (SA) pueden ser equilibrados y compensados en común. Forman una unidad inseparable y casi inmune a perturbaciones. En caso de fallar un componente, se cambia la unidad entera.

Si la función hasta aquí descrita tenía que ser realizada antes mediante circuitos separados, las tecnologías mixtas actuales hacen posible también la integración de la función completa en un solo chip, inclusive en las células de memoria digitales programables (PROM) eventualmente necesarias.

Casi en todos los casos existe incluso la posibilidad de realizar una integración monolítica del sensor y de la preparación de señales. La euforia inicial para este modo de integración ha sido suplantada entretanto por consideraciones objetivas en el aspecto de la economía.

Hoy día se utilizan más bien otros métodos de integración más rentables, que corresponden al estado actual de la tecnología (híbridos de capas gruesas, zócalo y caja de chip comunes). Este concepto, más modular, es también mucho más flexible, pues es más fácil de adaptar a las nuevas aplicaciones.

La mayoría de los sensores sólo pueden funcionar en combinación con estos ASIC y sus características son también definidas únicamente junto con estos circuitos.

En caso de fabricar sensores no sólo para sistemas específicos de la marca, sino también para el mercado libre, esta comercialización externa debería efectuarse, en lo posible, sólo en combinación con los circuitos de preparación de señales respectivos

### 11.8. Ejemplos de aplicación

Al principio los ASIC fueron concebidos preferentemente para ser montados en unidades de control. Por eso no pudieron tomarse en consideración ciertas exigencias que se basan en propiedades especiales, en parte individuales, de los sensores. Ahora, los circuitos se conciben en general para ser montados directamente en el sensor.

Los ASIC pueden en estos casos ejercer la función de un sensor inteligente, memorizando magnitudes individuales para el equilibrado y compensación y efectuando así correcciones en caso de errores o defectos. De un sinnúmero de ASIC se expondrán aquí sólo algunos como ejemplo:

#### ASIC CC212

El CC212 es un ASIC destinado a sensores de anillo de cortocircuito, es usado para la medición de recorridos y posiciones angulares y son utilizados en las bombas de inyección Diesel tanto rotativas como lineales.

Por razón de su gran efecto de medición y de su moderada frecuencia de funcionamiento (5... 50 Khz.), los sensores de anillo de cortocircuito no requieren en todo caso la presencia de la electrónica en el lugar de montaje. Por eso se encuentra el ASIC CC212 en la unidad de control. El reúne casi toda la electrónica que es necesaria para la activación y evaluación del sensor en la unidad de control o para la regulación electrónica diesel. Ofrece una señal de salida tanto analógica como digital.

Al diseñar este ASIC se renunció intencionadamente a las ventajas que ofrece una corrección individual de la característica y de la temperatura específica de esta versión de sensor, función que hubiera sido posible por la adaptación directa de la electrónica al sensor y que hubiera simplificado la estructura de éste. El reconoce automáticamente un posible cortocircuito o rotura de cable en el sensor y suprime las puntas de tensión parásita que pueden aparecer en la línea de salida del sensor.



El circuito ASIC activa un sensor semidiferencial de anillo de cortocircuito en la forma de un divisor de tensión alterna (10 Khz.), siendo alimentado un extremo del divisor con una amplitud constante. El otro extremo conduce una tensión de fase inversa, cuya longitud se regula hasta que desaparece la tensión de salida en la toma del divisor de tensión. La amplitud de tensión regulada representa simultáneamente la señal de salida analógica.

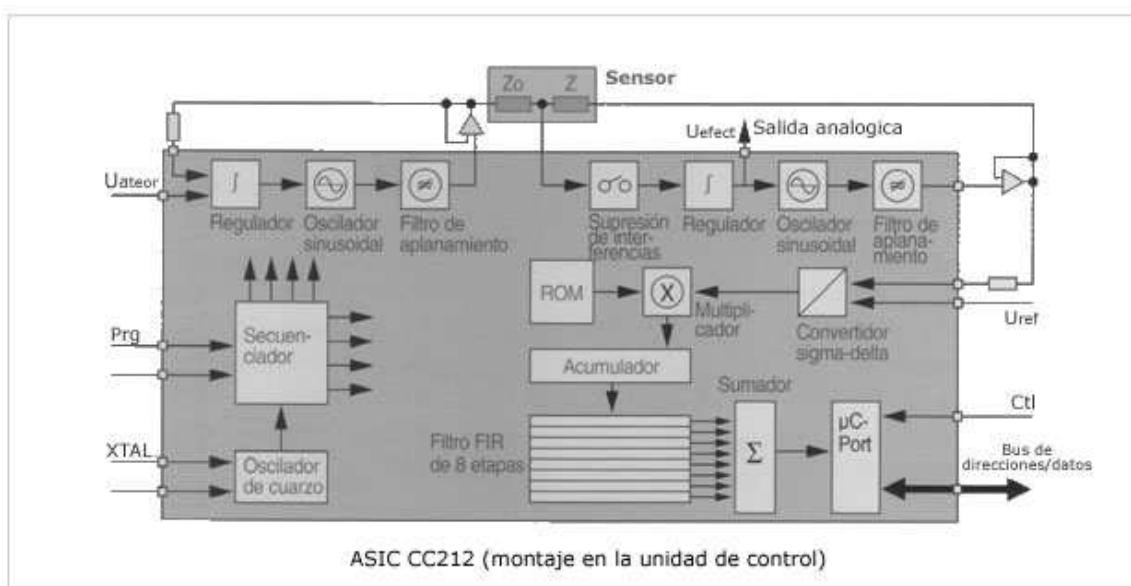


Figura 11.13:Diagrama de bloques de ASIC CC212.

### ASIC CC195

El CC195 es un ASIC destinado a sensores de picado. Los sensores de picado están fijados directamente en el bloque motor, donde registran señales de aceleración en forma de ruido propagado por estructuras sólidas.

Las señales típicas en un margen de 5 a 15 Khz. que se generan en caso de una combustión detonante han de ser filtradas. Un mando de estrechas aberturas sincronizadas en función del tiempo neutraliza exactamente la fase del ciclo de trabajo en la que teóricamente puede aparecer la señal y la asigna incluso a un cilindro determinado.

La señal que se manifiesta en el margen de frecuencias críticas es rectificadora y, después de su comunicación, es evaluada por la unidad de control. Esta desplaza el punto de encendido en caso necesario, hasta que desaparece el picado.

El circuito ASIC, que realiza las funciones descritas, está montado en la unidad de control y puede evaluar las señales de hasta cuatro sensores de picado.



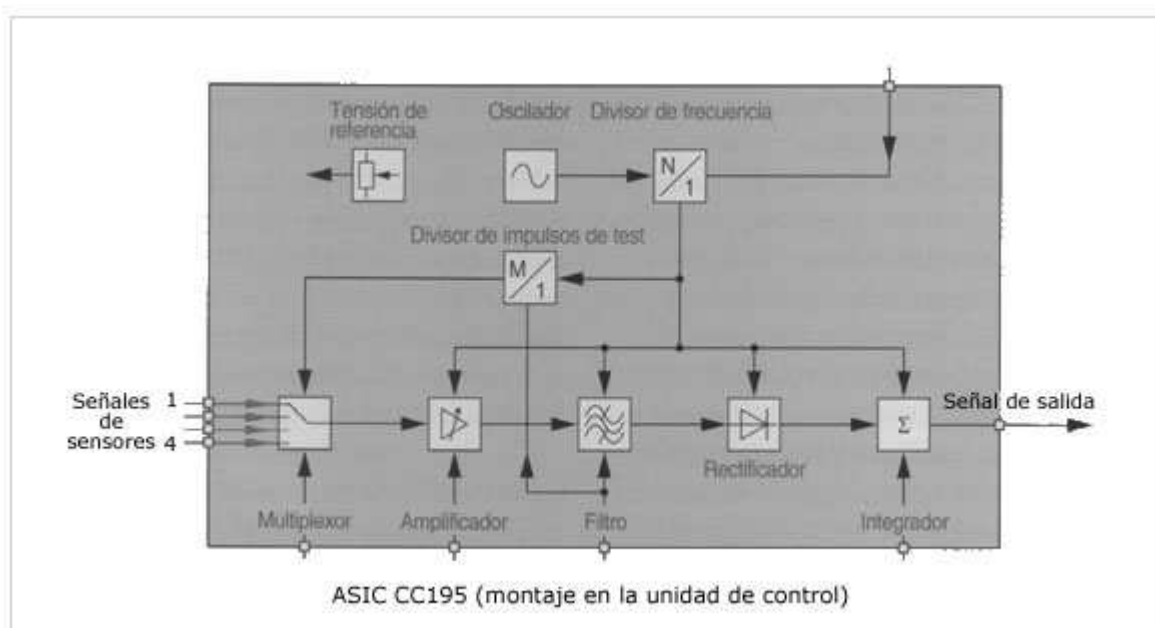


Figura 11.14:Diagrama de bloques de ASIC CC195.

### Interfase ASIC

Los sensores de aceleración activan los sistemas de retención de un vehículo, para proteger a los ocupantes contra las consecuencias de una colisión frontal. Estos sensores se encuentran directamente dentro de la unidad de control de los airbag, montada generalmente en la consola del vehículo.

Como la activación de un sistema de protección contra un choque lateral ha de tener lugar mucho más rápidamente, existe la necesidad de disponer los sensores de aceleración correspondientes en la periferia del vehículo. Desde allí transmiten sus señales digitales a la unidad central (ECU) por medio de una unión de dos conductores.

La transmisión de las señales la asegura un módulo electrónico llamado PAS (Peripheral Acceleration Sensor), que contiene en un concepto de dos chips tanto el sensor de aceleración capacitivo como también sus etapas de activación y evaluación.

El circuito ASIC utilizado comprende no sólo la activación del sensor y la evaluación de sus señales, sino también la activación del interfase de salida y la autovigilancia del sensor.

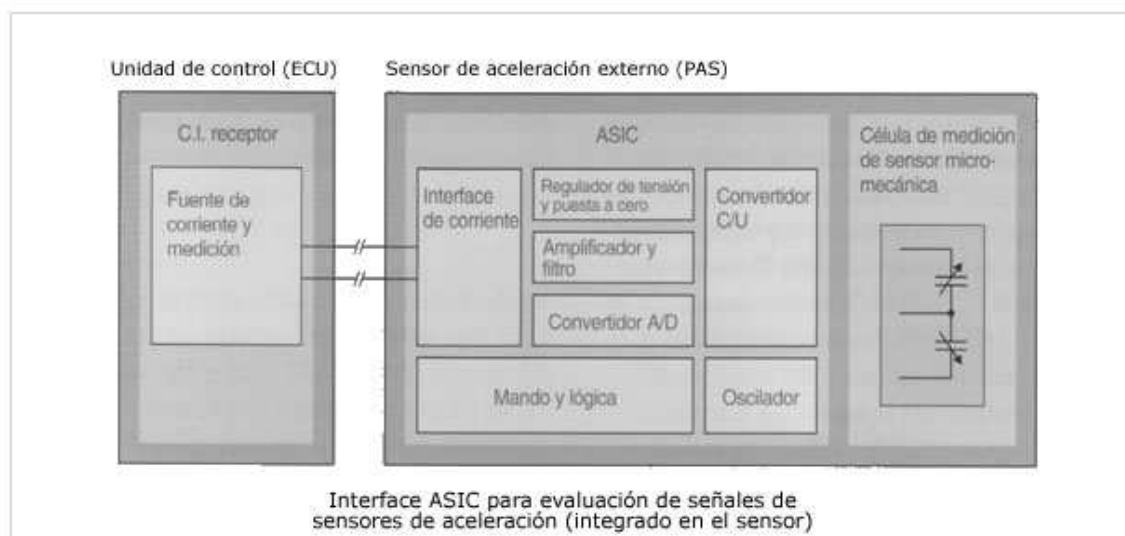


Figura 11.15: Diagrama de bloques ASIC para evaluación de señales de aceleración.

### ASIC CC340

El circuito CC340 es un amplificador de señales universal de mando digital. Este módulo concebido en técnica CMOS representa un amplificador analógico diferencial de tensión continua. Con la ayuda de un circuito digital de corrección, él puede regular simultáneamente el desplazamiento (Offset) y la amplificación, en función de una señal.

El es apropiado por ejemplo para amplificar muy exactamente la tensión de salida del puente de calibres extensiométricos de un sensor de presión, si al mismo tiempo se detecta también la temperatura de funcionamiento "t" del puente.

Por una parte se conservan así las ventajas de una sencilla amplificación analógica de banda ancha y exenta de retardo. Por otra parte se efectúa la corrección de temperatura en una sección del circuito totalmente digitalizada, a la que no hay que imponer ninguna exigencia respecto a una alta rapidez de funcionamiento ni de resolución.

La digitalización somera de la señal de temperatura se efectúa con 6 bits (64 escalones). La palabra digital permite tomar de una EEPROM dos funciones de corrección: una de desplazamiento y la otra de amplificación. Cada una de ellas está codificada con 8 bits y puede ser aplicada al amplificador. De esta manera se pueden corregir en un amplio margen también derivas de temperatura considerablemente no lineales.

La memoria EEPROM contiene también una amplificación y un desplazamiento básicos seleccionables.

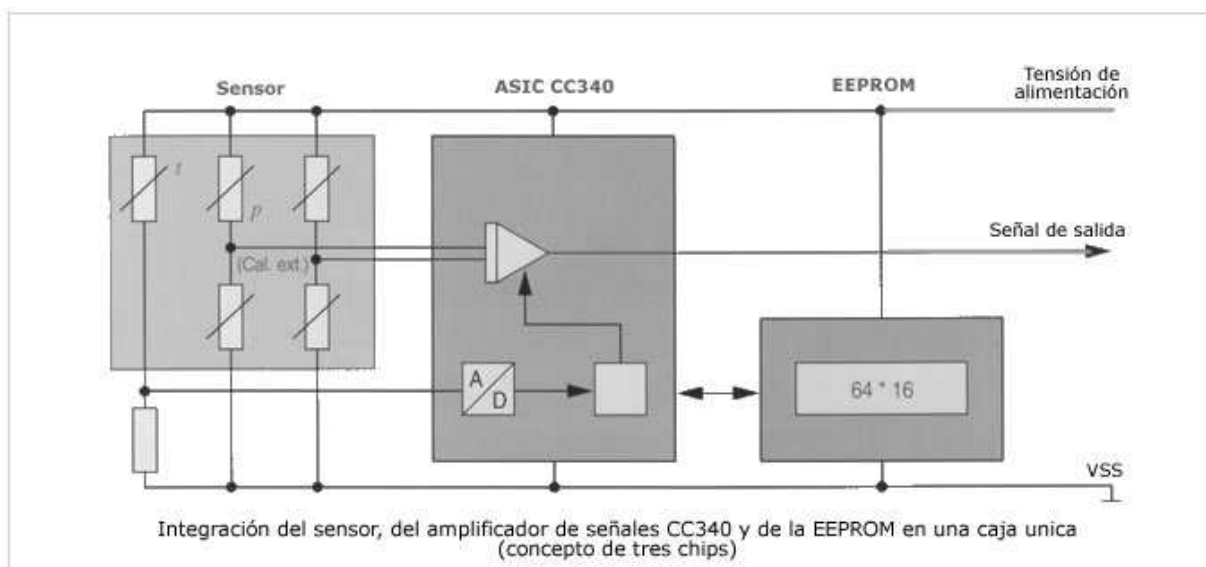


Figura 11.16: Circuito integrado con sensor, amplificador y EEPROM.

Una nueva versión de este ASIC tendrá integrados probablemente la EEPROM y el circuito bipolar de protección en un solo chip; conforme al estado de la técnica, en una primera versión hubo que realizar todavía estas funciones aplicando el concepto de tres chips.

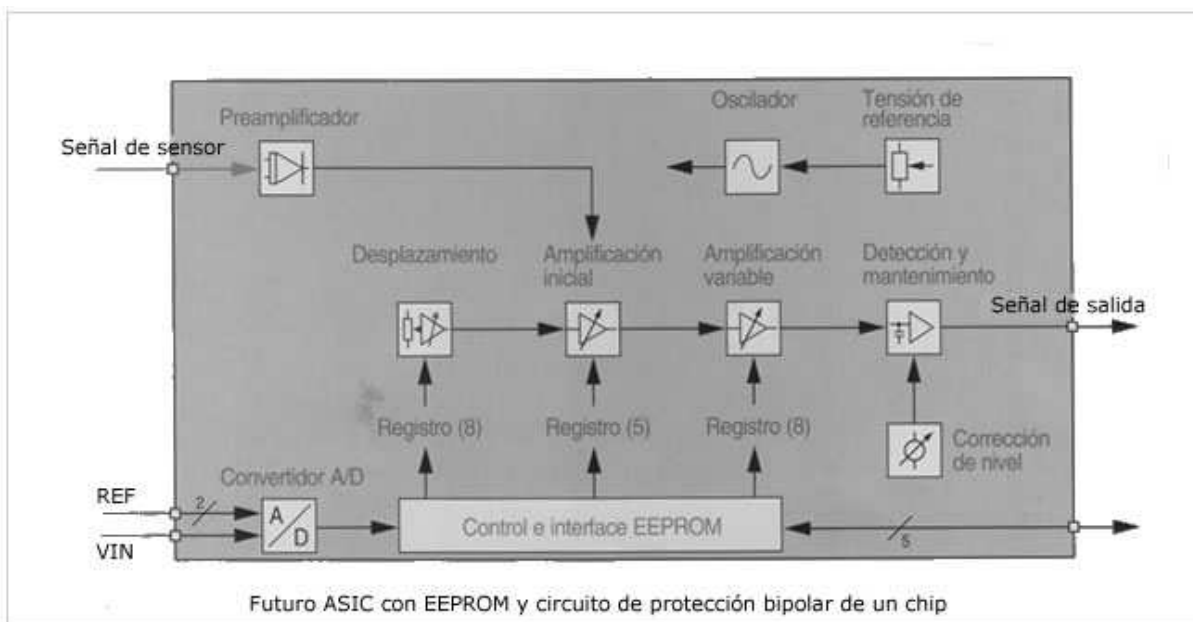


Figura 11.17: Diagrama de bloques del futuro ASIC.

## 12. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN SAD

### 12.1. Introducción

Todo SAD empieza por varios o un solo traductor, el cual, es un elemento sensible a la variable física a medir y del que se conoce la relación funcional entre la entrada y la salida. Dejando de lado el parámetro físico que mide desde nuestro punto de vista los transductores se dividen en función de su salida de tensión, de corriente, de carga, de resistencia, de capacidad o de inductancia. Cualquiera de los tipos de salida debe ser convertida, antes de entrar al amplificador, a tensión mediante circuitos adecuados.

Dado que entre el transductor y la entrada del SAD puede haber grandes distancias es necesario en ocasiones disponer de un sistema transmisor de señal. Este puede ser por tensión, amplificando la señal entregada por el transductor a niveles suficientemente altos y bajando la impedancia de la línea de transmisión, por corriente (es la mas utilizada por su eficacia y económica), por frecuencia utilizado un convertidor V/F junto al traductor y luego un convertidor F/V en la entrada del SAD, o convirtiendo su señal a código digital junto al transductor y enviando en serie los datos.

### 12.2. Amplificadores

Los amplificadores mas utilizados en estas aplicaciones son los de instrumentación, debido a su alta impedancia de entrada, baja deriva de la tensión de desplazamiento (offset), bajas corrientes de polarización de entrada, fácil ajuste de la ganancia mediante una resistencia externa y alta relación de rechazo de modo común.

Otros tipos de amplificadores utilizados son los simples operacionales en aplicaciones no muy criticas, los amplificadores aisladores para aislar altas tensiones de modo común, o los chopers estabilizados debido a su gran precisión y baja deriva de la temperatura.

### 12.3. Filtros

Entre los filtros mas utilizados están los activos en sus diferentes variantes. Usualmente se utilizan filtros pasa bajo para reducir el ruido debido a interferencias eléctricas y limitar la banda pasante de la señal analógica, para poder utilizar sistemas mas lentos y por ello mas económicos.

En algunas aplicaciones, es necesario disponer de un circuito que implemente una función analógica no lineal que puede consistir en alguna de las siguientes: producto, división, conversión a valor eficaz, logaritmo, exponencial, raíz cuadrada o linealización. Son circuitos muy especializados y caros que usan amplificadores operacionales en conjunto con elementos no lineales en su red de realimentación y que, aunque existen en encapsulado monolítico, su presentación mas usual es la hibrida.

## 12.4. Multiplexores

Los multiplexores analógicos son los circuitos que reparten el tiempo de actuación a un convertidor A/D entre varios canales analógicos. Son útiles para tener que disponer varios convertidores A/D los tipos mas usuales son de 4,8 y 16 canales, conectables en forma simple o diferencial. Todo multiplexor esta programado digitalmente para decir el canal que debe conectar con su salida. Al ser conmutadores MOSFET, tienen repitencia en serie que puede variar entre los 50 ohmios y 50K y por ello es necesario que el circuito que les siga tenga alta impedancia de entrada.

Para seleccionar un multiplexor se debe tener en cuenta la repitencia en serie, el tiempo de estabilización, la velocidad de conmutación, la diafonía entre canales y las corrientes de fuga. Cuando se multiplexan señales de alto nivel se utiliza el modo simple y cuando están son de bajo nivel se utiliza el modo diferencial.

## 12.5. Circuitos de muestreo y retención

Como ya se ha dicho, los circuitos de muestreo y retención se utilizan para retener la información analógica durante cortos periodo de tiempo y así reducir el tiempo de conversión A/D. Un circuito de este tipo es simplemente un elemento de memoria de tensión que adquiere una tensión de entrada y después la retiene en un condensador de muy bajas fugas.

Los parámetros mas importantes a tener en cuenta en la selección de un circuito de muestreo y retención son; el tiempo de adquisición cuya definición es similar al tiempo de estabilización de un amplificador, la caída de tensión en el modo de retención que es la variación de tensión de salida por unidad de tiempo cuando se abren en el modo de retención debida a corrientes de fuga de condensador y conmutador, la corriente de polarización de la salida del amplificador y el porcentaje de señal de entrada transferido a la salida cuando el conmutador de muestreo esta abierto, ocasionado por acoplamientos capacitivos.

La fase mas critica de un circuito de muestreo y retención es la transición desde el muestreo a la retención, por ello se debe tener en cuenta el error de transmisión, que es el cambio de tensión de salida en el momento de la transición. El retardo de la apertura es el tiempo transcurrido desde la orden de retención hasta cuando el conmutador realmente se abre, este tiempo suele ser inferior a 1us .

## 12.6. Conversores A/D Y D/A

Un circuito especifico relacionado con el convertidor A/D es el de tensión de referencia, al cual se le debe pedir que sea preciso y estable a largo plazo, ya que de ello depende la precisión y estabilidad del convertidor y por tanto del SAD.

Por ultimo, existen diversos tipos de convertidores A/D: A/D de contador, A/D de aproximaciones sucesivas, de conversión en paralelo, doble o triple pendiente, de carga balanceada, convertidor V/F y de integración.

Un convertidor real no tiene las funciones ideales de transferencia de uno ideal. Tiene tres desviaciones básicas del ideal: errores de desplazamiento (Offset), ganancia y idealidad. Para seleccionar un convertidor se deben tener en cuenta varias características: el tipo, la resolución, la velocidad, el coeficiente de temperatura, el consumo, la referencia de tensión necesaria, el sistema de interconexión con el procesador, el coste y los errores apuntados anteriormente.

### 12.7. Conclusión

En resumen, un sistema de adquisición de datos debe tener múltiples entradas de alta impedancia, las cuales si se trabajan con bajos niveles de señal deberán ser diferenciales o, si los niveles son altos, podrán ser de entrada simple. Internamente deben incorporar un circuito de entrada y muestreo y un convertidos A/D con la suficiente resolución.

En el mercado existen tanto circuitos monolíticos como híbridos, que llevan incorporadas las funciones de un sistema de adquisición de datos, aunque su coste comparativo con la solución con componentes separados es mas elevado.



## 13. SISTEMA DISEÑADO

### 13.1. Introducción

Una vez que ya hemos presentado todos los sensores existentes en el mercado así como la definición y funcionamiento de cada uno de ellos, voy a proceder a explicar el sistema diseñado para nuestra motocicleta.

Comenzare con una breve descripción de los sensores usados para después profundizar en cada uno de ellos. Hemos usado un sensor de proximidad de tipo inductivo para medir las revoluciones por minuto, un sensor hall fabricado por nosotros mismos que mediante una adaptación de la señal también es capaz de medir revoluciones por minuto. Hemos colocado varios sensores de temperatura, algunos de ellos son simples componentes electrónicos como el LM35 y otros son sensores profesionales basados en la tecnología NTC o de tipo K.



Figura 13.1: Circuitería empleada para la adquisición estática.

### 13.2. El tacómetro

El tacómetro es un dispositivo electrónico con fin de indicar constantemente la velocidad de rotación de un eje. La magnitud que el tacómetro muestra es dada en revoluciones por minuto.



Existen algunos tipos de tacómetros los cuales pueden ser usados en nuestra moto. Los mas usados son citados a continuación:

- Contadores de pulsos generados por el sistema de encendido y cuya escala está calibrada en RPMs del motor. Nosotros hemos utilizado este sistema para determinar las revoluciones cuando la moto esta corriendo en pista.
- Tacómetros eléctricos con mini-generador de corriente alterna acoplado a alguna pieza rotatoria del motor e indicador de voltaje o frecuencia calibrado a RPMs.
- Tacómetros electrónicos con generador de pulsos eléctricos acoplado a alguna pieza rotatoria del motor y contador de pulsos, calibrado a RPMs. Este es el caso usado en el montaje del banco de potencia.
- Tacómetros de arrastre por inducción con un engranaje acoplado a alguna pieza rotatoria del motor y cable de transmisión hasta el tablero.

#### 13.2.1. Contador de pulsos

Este tipo de tacómetros, pueden ser de contacto, o sin contacto con el eje que gira, basan su funcionamiento en el conteo de la cantidad de pulsos eléctricos por unidad de tiempo, utilizando algún procedimiento de generación de esos pulsos proporcionales a la velocidad de giro de la pieza, cuya velocidad se quiere medir.

En nuestro caso, hemos utilizado directamente los pulsos generados por, el sistema de encendido, pero en otros casos, se acoplan al árbol al que se quiere medir la velocidad un dispositivo que los genera.



Figura 13.2: Conexionado del sensor inductivo a la bujía.

De todas formas el sistema de medición de velocidad de giro se compone de dos partes generales:

- Un dispositivo generador de pulsos en cantidad proporcional al giro.
- Un indicador contador de esos pulsos por unidad de tiempo, calibrado en velocidad de giro, generalmente revoluciones por minuto (RPM).

El dispositivo indicador final puede ser tanto digital como analógico de aguja indicadora. Existen dos métodos que se usan para lograr los pulsos eléctricos necesarios para la medición, estos son:

- Generando pulsos por medios ópticos.
- Generando pulsos por inducción magnética.

#### 13.2.1.1. Generador de pulsos por medios ópticos

Un dispositivo genera un haz de luz o infrarrojo que es capturado por un receptor. Este receptor genera un pulso eléctrico cada vez que es iluminado. La pieza cuya rotación se quiere medir, al rotar, intercepta intermitentemente el haz luminoso, y con ello genera la serie de pulsos proporcionales necesarios para la medición.

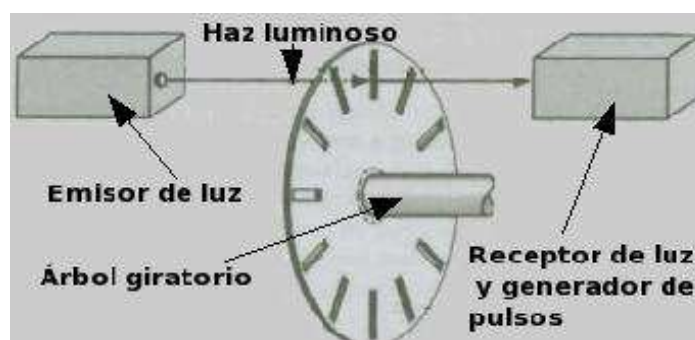


Figura 13.3:Dibujo explicativo del funcionamiento por pulsos ópticos.

#### 13.2.1.2. Generador de pulsos por medios magnéticos

El generador de pulsos eléctricos de imanes permanentes, se acopla a la pieza cuya velocidad de rotación se necesita medir, este generador puede producir uno más pulsos por cada vuelta de la pieza. La señal de salida del generador se conecta a un dispositivo electrónico que cuanta los pulsos por unidad de tiempo, y muestra la indicación correspondiente a esta velocidad, en la escala o en una pantalla digital. En muchos casos la generación de los pulsos se realiza utilizando la propia pieza que gira, a la cual se le adjunta un pequeño imán que pasa muy cerca de una bobina estacionaria. Cada vez que el imán pasa frente a la bobina, en ella se genera un voltaje instantáneo que constituye el pulso.

Los tacómetros eléctricos y los tacómetros electrónicos con generador de pulsos electrónicos se basan también en este tipo de funcionamiento.

### 13.2.2. Tacómetros de arrastre por inducción

El movimiento entra por el extremo de un eje como se muestra, en el otro extremo esta acoplado un imán permanente en forma de U que gira muy próximo a un disco, generalmente de aluminio. La rotación del imán produce un campo magnético rotacional que induce corriente eléctrica en el disco de aluminio, unos agujeros convenientemente hechos en el disco, dirigen las corrientes inducidas de forma tal, que se forman diminutas bobinas virtuales dentro de la masa del disco. Estas bobinas tienden a seguir al campo rotacional generado por el imán debido a la atracción mutua, por lo que se produce una tendencia a la rotación del disco. El disco no puede girar porque se lo impide un resorte en espiral acoplado a él por un extremo, y al cuerpo del dispositivo en el otro, no obstante el par generado vence parcialmente la fuerza del resorte y el disco gira cierto ángulo. Una aguja acoplada en el extremo del eje del disco indicará un valor en la escala. Como la intensidad de las corrientes generadas crece con la velocidad del imán, también crecerá el par de giro generado en el disco lo que permite que se pueda vencer más el resorte de espiral y con ello la desviación de la aguja

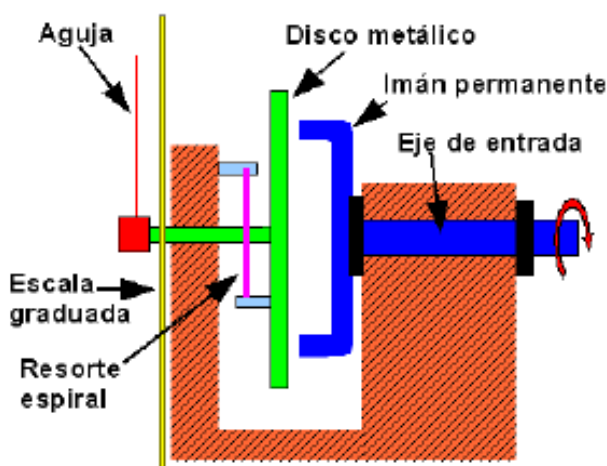


Figura 13.4: Dibujo explicativo del funcionamiento por inducción de arrastre.

## 13.3. Sensor inductivo de proximidad XS618B1PAL2 de Bosch

### 13.3.1. Introducción

Se denotan como imanes a toda materia con la propiedad de afectar al hierro y en menor medida a otras como el níquel, cobalto, cromo, etc.. Esta propiedad consiste en la atracción o repulsión de estas materias.

Los imanes se pueden clasificar en naturales y artificiales, disponiendo en ambos casos de sus respectivos polo norte y polo sur. En la naturaleza se pueden encontrar imanes en gran cantidad, siendo adquirido en algunos países como mero mineral. Los imanes artificiales son trozos de acero magnetizados mediante técnicas artificiales.

Estas técnicas se realizan mediante inducción o mediante sistemas eléctricos. Es independiente la forma del imán, siempre existe a su alrededor un campo magnético. Este campo de atracción está compuesto por líneas de fuerza, inmateriales. El sentido adoptado para estas líneas de fuerza es de norte a sur, siendo precisamente la zona de mayor atracción la de los extremos del imán. El enfrentamiento de un imán con otro puede suponer una atracción, cuando los polos son diferentes, y una repulsión al coincidir los polos enfrentados.

La utilización de los sensores inductivos en nuestra moto es con la finalidad de conocer la velocidad de rotación de ciertos componentes. Las ventajas más significativas son su bajo coste y sencillez, siendo su defecto más claro la imprecisión en las medidas realizadas a velocidades reducidas.

Dependiendo de la velocidad del movimiento y de la potencia del campo magnético generado por el imán se obtendrá una mayor o menor tensión.

### 13.3.2. Funcionamiento

Los sensores inductivos hacen uso de las propiedades magnéticas de diversos materiales y de las variaciones de diferentes parámetros asociados a los circuitos magnéticos (longitudes o secciones de núcleos, entrehierros, etc.), para alterar la inductancia de bobinas normalmente fijas, consiguiendo variar la geometría del circuito magnético, permitiéndole detectar la presencia de objetos metálicos.

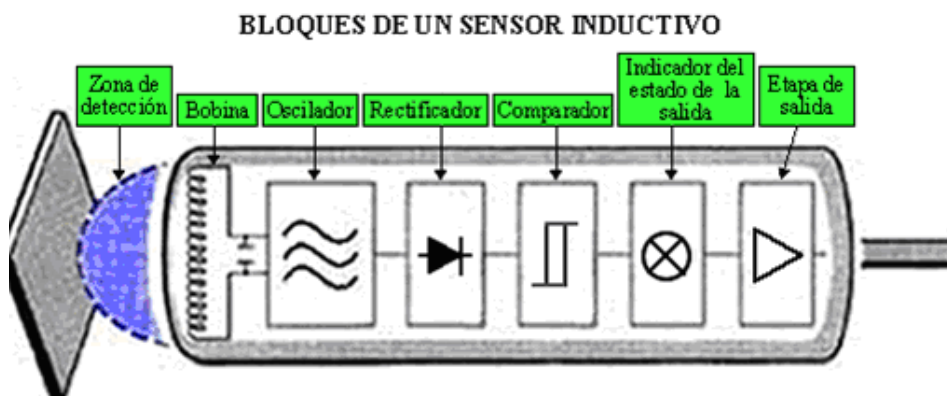


Figura 13.5: Bloques de un sensor inductivo de proximidad

Estos son los bloques que habitualmente constituyen un sensor inductivo, aunque en algunos modelos el amplificador puede estar implementado en otro dispositivo con carcasa independiente, para reducir el tamaño del sensor.

Cuando un objeto o placa metálica se mueve dentro de un campo magnético, sobre la placa magnética se generan unas corrientes eléctricas conocidas como corrientes de Foucault. Este es el principio que usan la mayor parte de los sensores inductivos empleados en la industria. En ellos la bobina sensora está provista de un núcleo descubierto hacia el lado de detección, al aplicar tensión al sensor, la bobina produce un campo magnético alterno de alta frecuencia, dirigido hacia el lado activo sensible.



Figura 13.6: Fotografía de sensor inductivo de proximidad.

Al acercarse un metal al lado activo, se presentan unas corrientes parasitas, las cuales influyen en el circuito oscilador, reduciendo la amplitud de oscilación y reduciendo el consumo de corriente del sensor. Estas señales son tratadas por el circuito rectificador y comparador, emitiendo la correspondiente señal de salida.

El sensor inductivo tiene su fundamento en la tensión proporcionada por la bobina al ser expuesta a las variaciones del campo magnético proporcionado por un imán. La bobina al contener un imán se ve sometida a un campo magnético constante no produciendo ninguna tensión. El material de la rueda dentada al ser ferromagnético produce variaciones en este campo debido a su movimiento. Las líneas de fuerza se ven influenciadas por este material alterando el campo magnético aplicado a la bobina.

Estas variaciones son las encargadas de generar una tensión alterna en los terminales de la bobina. Cuando un diente de la corona se va acercando al sensor el campo magnético varía haciendo disminuir la tensión y al alejarse la tensión aumenta.

Los dientes de la corona necesitan disponer de un distanciamiento calibrado para no rozar con el sensor. A la separación específica entre el sensor y la corona se le denota como entrehierro. Con el aumento de esta distancia se produce una disminución de la tensión generada por el sensor y por el contrario con un acercamiento se produce un aumento, en esta última situación se pueden producir rozamientos del sensor con la corona.

Además, la tensión y la frecuencia de la señal generada también dependen directamente de la velocidad de giro de la corona dentada. Al aumentar la velocidad de giro aumenta la variación del campo magnético y consecuentemente la tensión generada y la frecuencia de la misma. Por el contrario cuando la velocidad de giro disminuye la tensión también lo hace, así como la frecuencia siendo cero cuando la corona está parada.



Los sensores inductivos se conectan a la unidad de control mediante los dos terminales de la propia bobina. Como la tensión generada por el sensor es muy baja es necesario colocar a los cables un apantallamiento, con el fin de evitar interferencia procedidas por otros componentes externos al sistema en cuestión, este consiste en una simple malla metálica alrededor de los cables.

Además, este apantallamiento se encuentra conectado a la masa del circuito, desviando de esta forma todas las interferencias a masa, así se evitan las perturbaciones en el circuito electrónico.

### 13.3.3. Descripción del sistema

Nuestro compañero de equipo Javier Alcay diseñó un banco de potencia, el banco consiste en una estructura en la que va anclada el motor de combustión y al piñón de salida se le coloca una cadena de distribución que comunica con otro piñón, este unido a un eje en el que se encuentra un rodillo inercial. Este rodillo actúa como una carga acoplada al motor las dimensiones (longitud y diámetro), así como el peso son conocidos, de esta manera se sabe la inercia que presenta el rodillo y por tanto la fuerza y potencia que es capaz de desarrollar el motor.

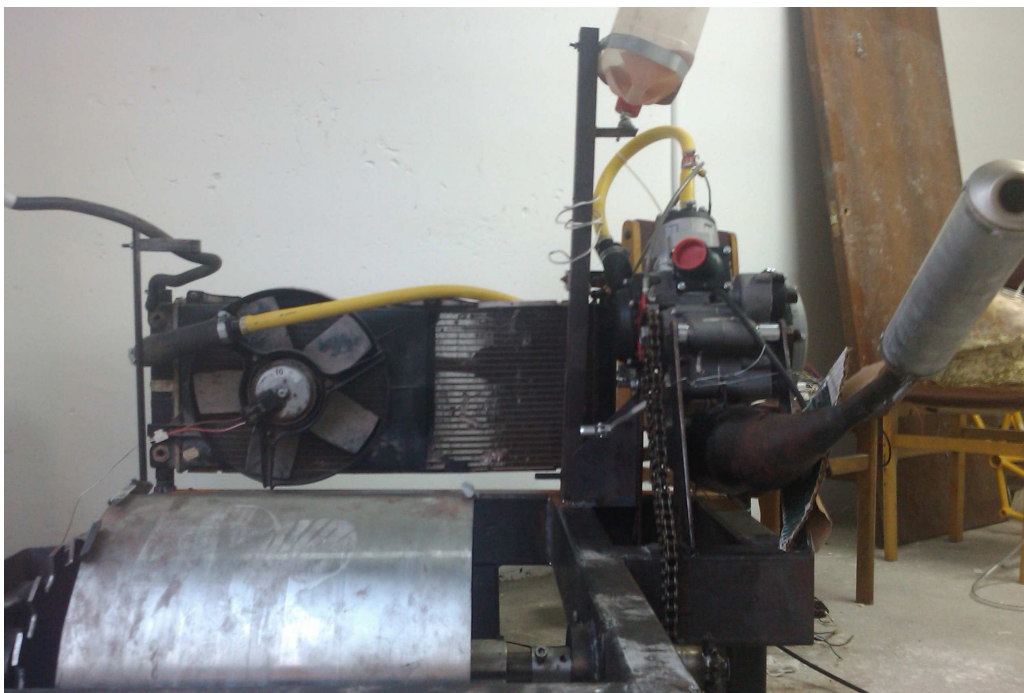


Figura 13.7: Fotografía del banco de potencia construida.

Para conocer la velocidad y a su vez la aceleración que lleva el rodillo, hemos soldado una corona dentada solidaria al eje en el que se ubica el rodillo. La misión de esta corona es provocar una variación en el campo magnético que detecta el sensor de proximidad XS618B1PAL2 de la casa Scheniedier Electric.



Figura 13.8: Fotografía de la rueda dentada y el rodillo de inercia.

La corona dentada tiene que tener un número determinado de dientes en nuestro caso es de catorce. Para llegar a este resultado hay que tener en cuenta que las revoluciones por minuto que lleva el cigüeñal a su velocidad máxima es de trece mil rpm., este dato puede ser sacado de las características técnicas que otorga el fabricante. Después del cigüeñal hay un reductor que saca a la salida del piñón anteriormente mencionado una velocidad de 4.000 rpm. Es decir, que el piñón del eje al que es acoplado el motor, así como el rodillo inercial y por tanto la rueda dentada también girarán 4.000 rpm. O lo que es equivalente aproximadamente a 70 Hz.

Observando las características del sensor de proximidad obtenemos que este es capaz de medir a 1.000 Hz por segundo. Si dividimos la frecuencia de medición del sensor entre la frecuencia que lleva el disco por vuelta obtenemos 14,2, aproximadamente 14, este número es el número de dientes que tiene nuestra rueda.

Una vez que nos aseguramos de que el sensor va a ser capaz de detectar todos los dientes tenemos que hacer que a su salida haya un circuito capaz de registrar cada pulso o lo que es lo mismo, cada diente y el que tiempo concreto en que se produce para poder determinar la velocidad que lleva el disco y la aceleración que presenta.

El sensor es alimentado a 12 voltios, y a su salida obtenemos 0 voltios cuando no detecta ningún diente o 5 voltios en el caso el que lo detecta, este nivel de tensión es llevado a un opto acoplador 4n25 y un conjunto de resistencias que aíslan eléctricamente la salida del sensor de la entrada de nuestra tarjeta de adquisición, concretamente la DAQ 6.008-USB de National Instruments.

La tarjeta está programada en LABIEW y lleva un programa que detecta el pulso y guarda el tiempo en el que lo detecta, de esta manera se crea una base de datos con la que luego la exportamos a Excel y podemos calcular la velocidad del disco y la aceleración.



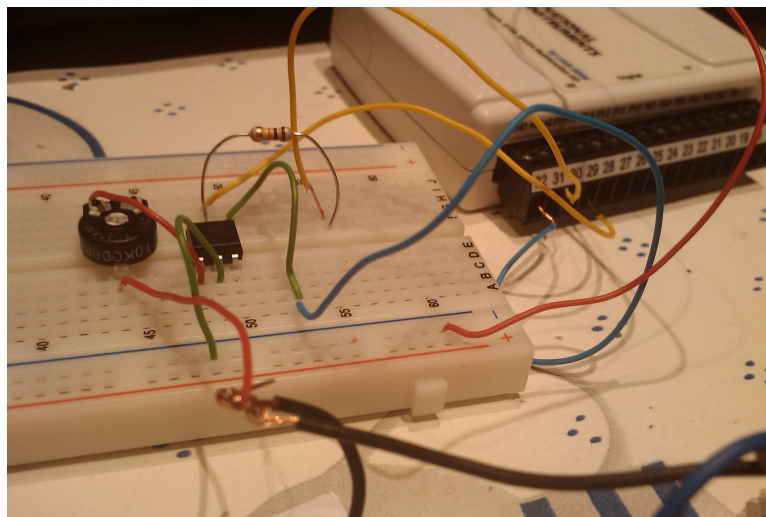


Figura 13.9:Fotografía circuito adaptación de la señal del sensor de proximidad

#### 13.3.4. Identificación de los cables

La norma EN 50 044 determina los colores de los hilos del sensor, distingue entre sensores de proximidad polarizados y no polarizados, podemos diferenciar los siguientes casos:

- Sensores de proximidad no polarizados tanto para CC o CA, con dos hilos de conexión, estos pueden ser de cualquier color excepto verde/amarillo.
- Sensores de proximidad polarizados para CC, con dos hilos de conexión, el terminal positivo debe marrón y el terminal negativo, azul.
- Sensores de proximidad de tres hilos, el terminal positivo debe ser marrón, el terminal negativo azul y la salida debe ser negro.

En nuestro caso tenemos un sensor de proximidad polarizado que trabaja con Corriente Continua.

#### 13.3.5. Comprobación del correcto funcionamiento

El correcto funcionamiento del sensor inductivo se comprueba de dos formas:

- El método estático consiste, mediante un polímetro, en medir la resistencia de la bobina con el sensor desconectado. El valor obtenido deberá coincidir entre los valores determinados por el fabricante.
- El método dinámico es cuando se realizan las comprobaciones con el sensor en funcionamiento. Éstas se pueden realizar con el polímetro midiendo la tensión en alterna, y se obtendrá un valor eficaz entre 0,5 V y 20 V.

Estos valores simplemente nos están diciendo que el sensor genera tensión, no sabiendo si es correcta o incorrecta. Siendo necesario conocer la tensión producida por otro sensor en buenas condiciones para poder realizar una comparativa, esto mismo sucede con las formas de onda obtenidas en el osciloscopio, ya que el fabricante no suministra datos de las mismas.

### 13.4. Medición de temperaturas

Otro parámetro importante a medir es la temperatura, para medir la temperatura ambiente hemos dispuesto varios LM35, internamente el LM35 tiene un conjunto de resistencias una de ellas es de tipo NTC y actúan como un divisor de tensión, dando a su salida un valor de tensión proporcional a la temperatura detectada, esta salida es llevada nuevamente a la tarjeta de adquisición para registrar todas las lecturas en una base de datos.

El LM35 presenta el problema de tener un rango de temperaturas de medición limitado ya que por encima de los 60° centígrados no mide correctamente, es por ello que hemos tenido que recurrir a un sensor de temperatura diferente.



Figura 13.10 y 13.11: Sensores de temperatura tipo NTC

El sensor de temperatura NTC M12-H de la casa Bosch es un sensor capaz de medir la temperatura del agua de refrigeración y tiene un rango de hasta 150°.

Este sensor tiene una resistencia nominal de 2,5 Kilohmios para 20° es por eso que tiene que formar parte de un divisor de tensión unido con una resistencia de 10K para que nos proporcione una tensión proporcional a la resistencia detectada, es decir, a la temperatura medida, nuevamente este valor de tensión es enviado a la tarjeta de adquisición que lo adaptará y por medio de la ecuación y programa oportuno lo transformará en su valor de temperatura correspondiente registrando este valor en una base de datos.

El sensor de Bosch sigue siendo insuficiente para medir temperaturas de escape ya que la temperatura de estos gases puede llegar a superar los 600° es por ello que para este tipo de medición hemos usado una sonda termopar tipo K el procedimiento de adaptación sigue siendo el mismo que para la NTC

## CONCLUSIÓN

A lo largo de estos dos años de desarrollo del proyecto, mi equipo y yo nos hemos encontrado con numerosos nuevos retos a los cuales no me había visto nunca antes expuesto.

En primer lugar he tenido que crear una idea, una idea vendible a nuestros posibles patrocinadores, los cuales no han sido nada fácil de encontrar, pues hoy en día, y menos con la situación económica actual, no es muy común encontrar personas, empresas e instituciones con ganas y valor de financiar a jóvenes que no pueden avalar su trabajo mas que con su propia seguridad en el éxito del proyecto.

Además los plazos para conseguir dichos inversores eran muy ajustados para alguien como yo que creía que eso le tocaba muy de lejos y que nunca se había si quiera parado a pensar como buscarlos o como convencerlos de su participación. Sin embargo esta falta de tiempo ha hecho que pusiera todo mi empeño en conseguirlo y así obtuve satisfactoriamente fondos para el proyecto.

Sin embargo he tenido apoyos para salvar estos retos y esos apoyos han sido los componentes de mi equipo, un equipo formado por estudiantes que muy pronto nos convertiremos en profesionales de ramas muy diversas, desde ingenieros mecánicos pasando por ingenieros de diseño hasta ingenieros eléctricos, lo cual ha supuesto aprender a entendernos entre nosotros y trabajar en equipo. Al principio parecía complicado puesto que la mayoría no nos conocíamos y además todos teníamos muchas ideas y todas muy dispares pero poco a poco nos hemos ido conociendo y hemos conseguido que nuestras ideas se encuentren y den fruto a este proyecto.

Trabajar en equipo supone una gran responsabilidad porque varias personas dependen de que tu trabajo este bien hecho para que el suyo sea fructífero. Seguramente, estos compañeros que formaban el equipo sean el aspecto mas positivo de esta experiencia, el factor humano y sus grandes capacidades gracias al trabajo en equipo.

Somos un equipo, pero, como en la vida real, no el único que perseguía el mismo reto y por tanto hemos tenido que competir con grupos de diversas regiones de España y del extranjero que al igual que nosotros buscaban patrocinadores, esbozaban sus ideas y realizaban sus proyectos

Así pues, y como conclusión, solo me queda expresar la satisfacción que he conseguido al ver que este, mi proyecto que comenzó siendo una simple idea, unido con el de otros compañeros se convertía en una realidad.



# ANEXOS